DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Elfter Jahrgang. 15. Juni 1923. Heft 24.

Über das stereophotometrische Verfahren zur Helligkeitsvergleichung ungleichfarbiger Lichter.

Von J. v. Kries, Freiburg i. B.

Zum Zwecke einer Helligkeitsvergleichung ungleichfarbiger Lichter hat *Pulfrich*[1]) ein Verfahren angegeben, das auf den Verhältnissen der binokularen Tiefenwahrnehmung beruht, und dem er deshalb den Namen des *stereophotometrischen* gegeben hat. Die Grundtatsache, auf der es beruht, ist die folgende. Lassen wir vor einem hellen Hintergrund einen dunkeln senkrechten Stab in einer frontalen Ebene von rechts nach links und von links nach rechts hin und her gehn, so erhalten wir unter gewöhnlichen Bedingungen in Übereinstimung mit dem objektiven Verhalten den Eindruck, daß der Stab sich in einer frontalen Ebne bewegt. Bringen wir nunmehr vor das eine Auge ein Rauchglas, so daß die einwirkenden Lichter für dieses abgeschwächt sind, so erhalten wir den Eindruck, daß jeder Punkt des Stabes sich in einer horizontalen Ellipse bewegt; in der Mitte seiner Bahn erscheint er uns also entfernter, wenn er sie in der einen, als wenn er sie in der entgegengesetzten Richtung durchläuft. Die Erscheinung wird als die der „kreisenden Marke" bezeichnet. Die Erklärung liegt in der folgenden Erwägung. Zwischen dem Einsetzen eines Reizes und dem Entstehen der Empfindung findet in jedem Falle ein gewisser Zeitverlust statt, der sich aber in seinem Betrage nach der Stärke des Reizes richtet, und zwar mit wachsender Reizstärke abnimmt. Erhält also z. B. das rechte Auge stärkeres Licht als das linke, so wird das rechtsäugige Bild eines bewegten Gegenstandes dem linksäugigen ein wenig voraneilen. In derjenigen Phase, wo der Stab sich nach rechts bewegt, muß daher das rechtsäugige Bild etwas mehr nach rechts, das linksäugige mehr nach links gelegen sein. In derjenigen Phase dagegen wo die Bewegung nach links gerichtet ist, ist das Gegenteil der Fall, das rechtsäugige Bild liegt mehr links, das linksäugige mehr rechts. Die allgemeine Bedingung für das Entstehen binokularer Tiefeneindrücke, eine Ungleichheit des von dem einen und anderen Auge Gesehenen, und zwar eine Rechts-Links-Verschiebung ist also hier gegeben. Nach den allgemeinen Regeln binokularer Tiefenwahrnehmung ist zu erwarten, daß der Stab im ersteren Falle in größerer, im letzteren in geringerer Entfernung wahrgenommen wird. Dem entspricht auch die Beobachtung. Der Stab scheint sich so zu bewegen, daß er in der entfernteren Hälfte seiner Bahn von dem verdunkelten zum heller sehenden Auge läuft. Die Scheinbewegung geht im Uhrzeigersinne, wenn das rechte Auge helleres, im entgegengesetzten, wenn das rechte Auge schwächeres Licht erhält als das linke. — Läßt man nun das eine Auge statt durch ein Rauchglas durch ein farbiges Glas schauen, so ist das gleiche zu beobachten. Dies kann nicht überraschen, da ja auch das farbige Glas von dem einwirkenden Licht irgendwelche Teile absorbiert und also im ganzen verdunkelnd wirkt. Bringt man nun, während das eine Auge durch ein farbiges Glas blickt, vor das andere farblose Gläser von abstufbarer Dunkelheit, so findet man für die letzteren einen bestimmten Dunkelheitsgrad, bei dem der Stab sich genau in einer frontalen Ebne zu bewegen scheint, während seine Bewegung bei der Anwendung eines helleren oder dunkleren im einen oder im entgegengesetzten Sinne „kreisend" gesehen wird. Hiermit ist nun für die Helligkeitsvergleichung ungleichfarbiger Lichter eine feste Grundlage gewonnen. „Wir gelangen, sagt *Pulfrich*, zu der folgenden Definition gleicher Helligkeiten: Wir bezeichnen die Helligkeiten zweier Farben als gleich, wenn die Zeit zwischen Erregung und Empfindung für beide Farben gleich groß ist, und erkennen diese Gleichheit daran, daß in dem Augenblick, in dem die als kreisende Marke der Beobachtung zugänglich gemachte Zeitdifferenz der beiden Empfindungen verschwindet, die kreisende Bewegung in eine geradlinige übergeht" (a. a. O. S. 37).

Es unterliegt m. E. keinem Zweifel, daß die Art, in der *Pulfrich* die Erscheinungen auffaßt, insbesondere die Zurückführung des Stereoeffekts auf die zeitlichen Verhältnisse der physiologischen bzw. psychologischen Vorgänge grundsätzlich vollkommen zutrifft. Fraglich kann allerdings erscheinen, ob es genügt, einfach von der Zeitdifferenz zwischen Reiz und Empfindung zu sprechen. Von vornherein erscheint es z. B. nicht ganz sicher, ob es für den Stereoeffekt auf den Zeitpunkt ankommt, in dem die Empfindung *beginnt*, oder auf denjenigen, in dem sie ihren *Höchstwert* erreicht usw. Wir werden unten auf

[1]) *Pulfrich*, Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie, diese Zeitschrift 1922, S. 553, 569, 596, 714, 735 und 751. Buchausgabe unter dem Titel Die Stereoskopie im Dienste der Photometrie und Pyrometrie, Berlin 1923.

diese Fragen noch kurz zurückkommen. Sie können jedoch zunächst auf sich beruhen bleiben, und wir können die Definition etwa dahin abändern, daß gleich hell Farben genannt werden sollen, wenn für sie der für den Stereoeffekt maßgebende Zeitwert übereinstimmt.

Auch unter rein physiologischen Gesichtspunkten sind die hier zugrunde gelegten Tatsachen von großem Interesse, und ich habe demgemäß in meinem Institut Versuche in Angriff nehmen lassen, die sich in verschiedenen Richtungen damit beschäftigen. Aus diesen noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen möchte ich hier schon jetzt einiges mitteilen, was gerade für die praktische Aufgabe der ungleichfarbigen Helligkeitsvergleichung von Bedeutung ist[2]).

Man muß zunächst beachten, daß wir es hier mit einer *Definition* der Helligkeitsgleichheit zu tun haben, die, auch wenn sie sich als eine besonders zweckmäßige und wertvolle herausstellt, doch immer die Bedeutung einer *Übereinkunft* hat, und der andere Definitionen der Helligkeitsgleichheit entgegengestellt werden können. So können z. B. auch zwei Lichter gleich hell genannt werden, wenn sie bei Beobachtung auf kleinsten Feldern oder mit stark exzentrischen Teilen der Netzhaut (an der äußersten Peripherie des Gesichtsfeldes), unter welchen Bedingungen keine Farben gesehen, wohl aber Helligkeitsunterschiede mit beträchtlicher Genauigkeit wahrgenommen werden, gleich erscheinen. Wir pflegen in der Physiologie, um Mißverständnisse auszuschließen, in den beiden letzteren Fällen zwei Lichter *minimalfeldgleich* oder *peripheriegleich* zu nennen. Um auch für das Pulfrichsche Verfahren eine kurze Bezeichnung zu haben, will ich zwei Lichter, die bei diesem als gleich bewertet werden, *stereogleich* nennen. Ob nun z. B. stereogleiche Lichter immer auch minimalfeldgleich sind, das ist zunächst eine offene Frage. Das gleiche gilt aber auch für diejenigen Vergleichungen, die ohne besondere Hilfsmittel unmittelbar nach dem Helligkeitseindruck gemacht werden. Wählen wir hierfür die Bezeichnung der *Eindrucksgleichheit*, so können wir also fragen, ob stereogleiche Lichter auch eindrucksgleich sind, d. h. ob zwei Lichter, die nach dem Stereoverfahren als gleich bewertet werden, auch in der unmittelbaren Betrachtung den Eindruck gleicher Helligkeit machen. Der Beantwortung dieser Frage steht allerdings die beträchtliche Unsicherheit des auf dem unmittelbaren Eindruck beruhenden Vergleichs entgegen. Indessen ist an die Möglichkeit zu denken, daß Eindrucksgleichheit und Stereogleichheit so stark auseinanderfallen, daß trotz dieser Unsicherheit Unterschiede unzweideutig bemerkbar werden.

[2]) Die Versuche werden in meinem Institut von den Herren Dr. *Engelking* und Dr. *Poos* ausgeführt, die nach Abschluß der ganzen Untersuchung an anderer Stelle darüber berichten werden

Die Frage, ob stereogleiche Lichter auch eindrucksgleich sind, führt sogleich auf eine weitere, die auch für die Stereomethode an sich von großer Bedeutung ist. Für die Eindrucksgleichheit gilt, wie bekannt, daß sie in hohem Maße von der *absoluten Stärke* der verglichenen Lichter und, was im allgemeinen damit verknüpft ist, von dem *Adaptionszustande* des Auges abhängt. Unter dem Namen des *Purkinjeschen Phänomens* ist seit langem die Tatsache geläufig, daß, wenn wir zwei ungleichfarbige Lichter, die bei hohen Intensitäten und hell adaptiertem Auge den Eindruck gleicher Helligkeit machen, proportional abschwächen und dabei zugleich den Adaptionszustand des Auges sich in der entsprechenden Weise ändern lassen, sich das Helligkeitsverhältnis zugunsten des kurzwelligen Lichtes verschiebt. Diese Verschiebungen können unter Umständen ungemein stark sein. Vergleicht man z. B. rein rote Lichter (deren Wellenlänge nicht unter 700 $\mu\mu$ heruntergeht) mit blauen, und geht von einem Stärkeverhältnis aus, bei dem die beiden Lichter bei hohen Intensitäten und Helladaption etwa gleich hell erscheinen, so wird bei proportionaler Abschwächung und Dunkeladaption das rote bereits vollständig unsichtbar (unterschwellig), wenn das blaue noch in ansehnlicher Helligkeit sichtbar ist.

Auch für das Pulfrichsche Verfahren muß nun die Frage aufgeworfen werden, ob das Verhältnis der Stereogleichheit von der absoluten Intensität und dem Zustande des Sehorgans unabhängig ist, m. a. W. ob, wenn zwei ungleichfarbige Lichter sich unter bestimmten Bedingungen als stereogleich erweisen, dieses Verhältnis bestehen bleibt, wenn die Stärken beider Lichter in beliebigem Maße proportional vermehrt oder vermindert werden und zugleich der Zustand des Sehorgans sich in der entsprechenden Weise verändert. Es liegt, wie ich betonen möchte, keinerlei Berechtigung vor, dies von vornherein als selbstverständlich vorauszusetzen. Es ist aber von einigem Interesse, die beiden Möglichkeiten gegenüberzustellen, an die zunächst zu denken ist, und zwischen denen nur der Versuch entscheiden kann. Ist die Stereogleichheit von Adaption und absoluter Lichtstärke unabhängig, so kann sie jedenfalls nicht durchgängig mit der Eindrucksgleichheit zusammenfallen; es muß vielmehr unter gewissen Umständen vorkommen, daß stereogleiche Lichter für die unmittelbare Betrachtung keineswegs den Eindruck gleicher Helligkeit machen. Wenn anderseits die Beziehung der Stereogleichheit mit der der Eindrucksgleichheit durchgängig zusammentrifft (wenigstens mit dem Grad der Genauigkeit, den die Vergleichung der Eindrucks-helligkeiten überhaupt gestattet), so muß auch die Stereogleichheit in mindestens ähnlicher Weise wie die Eindrucksgleichheit von Lichtstärke und Adaption abhängen. Man könnte in diesem letzteren Falle sagen, daß auch die Stereophotometrie das Purkinje-Phänomen zeigt. Ob

nun das eine oder das andere zutrifft, das ist in verschiedenen Richtungen von großem Interesse, namentlich aber auch für die Bewertung der Stereomethode von grundlegender Bedeutung. Wir haben daher diese Frage zum Ausgangspunkt der Untersuchungen genommen. Es wurde demgemäß zunächst für ein rotes Glas geprüft, ob die Einstellung auf Stereogleichheit mit einem grauen, die mit gut helladaptiertem Auge und relativ hohen Lichtstärken gewonnen war, gültig bleibt oder geändert werden muß, wenn die Lichter proportional abgeschwächt werden und das Auge ein gewisses Maß von Dunkeladaption erhält.

In betreff des benutzten Verfahrens darf ich mich hier auf kurze Andeutungen beschränken. Vermittels eines durch Elektromotor angetriebenen Exzenters wurde ein senkrechter Streifen schwarzen Tuchpapiers von 10 mm Breite und 50 mm Höhe in einer zum Beobachter frontalen Ebene vor weißem Hintergrunde hin und her bewegt. Vielfach wurde übrigens auch die umgekehrte Anordnung, Bewegung eines weißen Streifens vor schwarzem Grunde benutzt. Die Periode der Bewegung konnte innerhalb weiter Grenzen geändert werden, wurde aber in der Regel auf etwa 0,8 Sekunde (für den ganzen Hin- und Hergang) normiert. Die Exkursion der Bewegung betrug in der Regel 14 cm, konnte übrigens ebenfalls innerhalb ziemlich weiter Grenzen geändert werden. Beobachtet wurde aus einem Abstand von etwa 50 cm. Der Beobachter hatte den Kopf durch Benutzung einer Kinnstütze annähernd zu fixieren. Sein eines Auge blickte durch das zu prüfende farbige Glas. Vor dem anderen befand sich ein Goldbergscher Verdunkelungskeil, der mit horizontaler brechender Kante angeordnet war, so daß durch seine senkrechte Verstellung der Grad der Verdunkelung abgestuft werden konnte. Diese Verstellung wurde durch eine mit Millimeterskala und Nonius versehene Triebeinrichtung bewirkt. Natürlich ist es notwendig, Sorge zu tragen, daß das Auge nicht bei bestimmter Stellung des Keils durch wechselnde Stellen desselben blicken kann. Aus diesem Grunde wurde ein Blechschirm mit einem wagerechten Schlitz von 3,5 mm Höhe unmittelbar vor dem Glaskeil angebracht, so daß die Fläche des Keils auf dem Schirm schleifte. Der Beobachter mußte dann das Auge so einstellen, daß der Schlitz in seiner ganzen Höhe sich vor der Pupille befand. Da hierdurch die Pupillenapertur für das durch den Keil beobachtende Auge verkleinert wird, so war es notwendig, auch vor dem anderen Auge einen Schlitz von der gleichen Form und Größe anzubringen. Es sei noch erwähnt, daß die Einrichtung mit dem Goldbergschen Keil in der Mitte eines passenden Trägers montiert wurde, die Einrichtung für das zu prüfende farbige Glas aber doppelt, sowohl rechts wie links von diesem angebracht wurde. Auf diese Weise konnte das farbige Licht dem linken und das abzustufende farblose Licht dem rechten Auge geboten oder auch die umgekehrte Anordnung benutzt werden.

Die Variierung der Beleuchtung geschah durch die Benutzung der annähernd lichtdichten Rolläden, mit denen die Fenster des Beobachtungszimmers versehen sind. Die Höchstbeleuchtung war also dadurch gegeben, daß der Beobachtungsraum durch alle die vier großen Fenster, die er besitzt, Licht erhielt. Durch Abdunkelung von einem, zwei Fenstern usw., schließlich dadurch, daß von einem letzten Fenster fortschreitend größere Teile abgedunkelt wurden, konnte eine Reihe immer schwächerer Beleuchtungen bis zu sehr geringen Graden, wenn auch nicht bis zu absoluter Dunkelheit, erzielt werden. Daß das Licht bei dieser Veränderung seiner Stärke auch geringe Änderungen seiner Zusammensetzung erfahren haben mag, können wir nicht ausschließen, doch dürften diese von sehr geringem Betrage und für die erhaltenen Ergebnisse jedenfalls ohne nennenswerte Bedeutung gewesen sein. Bei dem Übergang zu geringeren Beleuchtungen ließen wir stets einige Zeit verstreichen, damit das Auge sich für die veränderte Helligkeit angepaßt hatte, ehe die Beobachtung begann.

Es zeigte sich nun, *daß die Stereogleichungen unter den erwähnten Bedingungen nicht gültig bleiben, daß sie sich aber nicht im Sinne des Purkinjeschen Phänomens, sondern im entgegengesetzten Sinne ändern. Mit Lichtverminderung und Dunkeladaption wird die Stereohelligkeit des Grau relativ vermindert und die des Rot relativ vermehrt.* Als Beleg hierfür diene die nachstehende Tabelle, die die Ergebnisse je dreier Versuchsreihen von zwei Beobachtern enthält. Im ersten Stabe sind die Helligkeitsstufen aufgeführt, wobei 1 die höchste Helligkeit und die fortschreitenden Zahlen die zunehmende Verdunkelung bezeichnen. Die anderen Stäbe enthalten die Einstellungen des Graukeils, die bei der betreffenden Helligkeit erforderlich waren, um das farblose Licht dem roten stereogleich zu machen.

Einstellung des Rauchglaskeiles auf Stereogleichheit mit Rot.

Helligkeitsstufe	Beobachter A			Beobachter B		
1	—	23,2	23,6	—	23	23,6
7	21,5	21,4	20,7	20,8	21,8	19,9
8	19,2	18	18,7	18,1	17,6	17,2
9	15,3	15,2	14,5	13	12,9	12,4
10	14,1	12,9	12,9	7,1	6,5	5
11	4	3,4	2	−1	−0,4	−1,9
12	−1,8	−2	−2,3	−2,3	−3	−3,5

Für die Zahlen, die die Stellung des Rauchglaskeils angeben, ist zu beachten, daß bei der Einstellung auf −4,5 die Kante des Keils vor der Mitte des Beobachtungsschlitzes steht, bei dieser Stellung findet also noch keine Verdunke-

lung statt. Die zunehmenden Zahlen zeigen Stellungen an, bei denen dickere und dickere Teile des Keils vor den Beobachtungsschlitz kommen, entsprechen also der fortschreitenden Abschwächung des farblosen Lichtes.

Man sieht sehr deutlich und in einer durchweg nahezu übereinstimmenden Weise, daß mit abnehmender absoluter Lichtstärke ein relativ immer helleres farbloses Licht dem roten stereogleich ist. Die Verschiebung der für die Stereogleichheit erforderlichen Verhältnisse ist eine außerordentlich beträchtliche. Denn wie die Eichung des Keils ergab, werden bei der Stellung —2,5 etwa 80 %, bei der Einstellung auf 23 nur etwa 4 % von dem auffallenden Licht durchgelassen.

Aus dieser Tatsache folgt nun auch, daß von den beiden oben erwähnten Möglichkeiten *die zweite zutrifft: Stereogleichheit und Eindrucksgleichheit müssen unter Umständen sehr auseinanderfallen.* Hiervon kann man sich denn auch ohne messende Beobachtung direkt überzeugen.

Man braucht nur durch abwechselndes Schließen des einen und des anderen Auges sich das, was das eine und andere sieht, vergleichbar zu machen. Tut man dies bei hoher Beleuchtung und derjenigen Einstellung des Rauchglaskeils, die für diese das farblose Licht dem roten stereogleich macht, so erscheinen die vom rechten und linken Auge gesehenen Helligkeiten dem Eindruck nach annähernd gleich. Verfährt man dagegen in derselben Weise bei sehr herabgesetzter Beleuchtung und derjenigen Einstellung des Keils, die in diesem Falle zur Erzielung der Stereogleichheit erforderlich ist, so erscheint das durch das rote Glas gesehene *bei weitem dunkler.*

Den gefundenen Sachverhalt können wir auch etwas anders formulieren, und wir gelangen so dazu, die Erscheinung mit bekannten Tatsachen in Verbindung zu setzen und des Überraschenden oder Paradoxen zu entkleiden, das sie auf den ersten Blick zu haben scheint. Wir können nämlich sagen, daß zwei Lichter ungleicher Farbe die sich dem unmittelbaren Eindruck nach als gleich hell darstellen, hinsichtlich ihrer zeitlichen Verhältnisse beträchtlich verschieden sein können. Daß dies unter gewissen Bedingungen vorkommt, ist nun wohl bekannt. Auch sind wir durch unsere gegenwärtigen Anschauungen von der Einrichtung des Sehorgans mit großer Wahrscheinlichkeit darüber unterrichtet, worauf das beruht. Um dies darzulegen, muß ich hier mit einigen Worten auf den maßgebenden Punkt dieser Anschauungen eingehen, um so mehr, als sie, wie gerade die Arbeiten *Pulfrichs* erkennen lassen, in den Kreisen der Physiker noch nicht dasjenige Maß von Beachtung gefunden haben, das man wünschen könnte. Nach einer auf eine Fülle der verschiedenartigsten Tatsachen gestützten und, wenn nicht ganz durchgängig, doch in weiter Verbreitung für zutreffend erachteten Anschauung wird angenommen, daß das Sehorgan sich aus zwei Bestandteilen zusammensetzt, deren einer dem „Tagessehn", der andere dem „Dämmerungssehn" dient. Bleibt die Beleuchtung, bei der wir uns befinden, unter einer gewissen Grenze, so kommt allein der letztere in Tätigkeit, weil die Lichter für den ersteren unterschwellig sind. Bei hohen Lichtstärken funktioniert, wenn nicht allein, so doch ganz überwiegend, der erstere. Bei mittleren Beleuchtungen greift die Tätigkeit beider in einer quantitativ abstufbaren Weise ineinander. Die beiden Bestandteile sind mit verschiedenen Empfängern ausgerüstet und daher in der Netzhaut in einer anatomisch erkennbaren Weise gesondert: der erstere, dem Tagessehn dienende besitzt als Empfänger die *Zapfen*, der dem Dämmerungssehn dienende dagegen die *Stäbchen*. Es ist diese Anschauung, die jetzt gewöhnlich kurz als *Duplizitätstheorie* des Sehorgans bezeichnet wird[3]).

Die Dämmerungsorgane sind total farbenblind, d. h. sie sind nur zur Wahrnehmung von hell und dunkel befähigt, ermangeln aber jeglicher Farbenunterscheidung, wie das die bekannten und charakteristischen Erscheinungen des Dämmerungssehens lehren. Sie sind es ferner, die ganz vorzugsweise die weitgehenden, als Hell- und Dunkeladaption bekannten Zustandsänderungen durchlaufen können, Zustandsänderungen, die in der gewaltigen Steigerung der Empfindlichkeit bei längerem Aufenthalt im Dunkeln zur Erscheinung kommen und auf dem wechselnden Gehalt der Stäbchen an *Sehpurpur* beruhen. — Im gegenwärtigen Zusammenhange sind noch zwei weitere Unterschiede zwischen den Tages- und den Dämmerungsorganen von Bedeutung. Sie unterscheiden sich erstlich dadurch, daß die Zapfen gegen langwelliges, die Stäbchen gegen kurzwelliges Licht relativ empfindlicher sind. Wie bekannt, liegt im prismatischen Spektrum des Sonnenlichts bei hohen Lichtstärken das Maximum der Helligkeit etwa beim Natriumgelb (Wellenlänge 589 $\mu\mu$). Das lichtschwache, mit dunkeladaptiertem Auge gesehene Spektrum hat dagegen die hellste Stelle etwa bei 536 $\mu\mu$. Das rote Ende des Spektrums ist

[3]) Ich habe diese Hypothese im Jahre 1894 aufgestellt und in den folgenden Jahren an einem großen und mannigfachen Tatsachenmaterial des genaueren entwickelt und begründet resp. bestätigt. Der Leser, der sich dafür interessiert, sei auf die zusammenfassende Darstellung verwiesen, die ich im Jahre 1904 in Nagels Handbuch der Physiologie gegeben habe (Abschnitt „Gesichtsempfindungen", Bd. *III*, S. 168 bis 193). Dort ist auch über die Beteiligung anderer Forscher, namentlich des französischen Augenarztes *Parinaud*, an dem gleichen Gedanken das Erforderliche angegeben. Hier sei noch erwähnt, daß der Ausgangspunkt der Theorie in den von *König* entdeckten Tatsachen gegeben war, die er als „Abweichungen vom Newtonschen Farbenmischungsgesetz" bezeichnete. Sie bestehen darin, daß unter Umständen Lichter oder Lichtgemische, die bei hohen Lichtstärken vollkommen gleich aussehen, bei proportionaler Herabsetzung aller beteiligten Lichter ungleich werden.

unter diesen Bedingungen gar nicht sichtbar, das Spektrum erscheint am langwelligen Ende verkürzt. Bezeichnet man die unter diesen letzteren Bedingungen zu beobachtenden Reizwerte als „Dämmerungswerte", so kann man sagen, daß die Dämmerungswerte ihren Höchstwert etwa bei 536 μμ besitzen, für rotes Licht aber praktisch gleich Null sind.

In diesem Verhältnis liegt nun zunächst die Erklärung des Purkinjeschen Phänomens; je mehr bei abnehmender Lichtstärke und Dunkeladaption der Dämmerungs-Bestandteil in den Vordergrund tritt, um so mehr erscheinen die kurzwelligen Lichter begünstigt. Der andere hier ganz besonders wichtige Punkt ist der, daß die beiden Bestandteile hinsichtlich ihrer *zeitlichen Verhältnisse* beträchtlich verschieden sind. Und zwar sind es die Stäbchen, die etwas träger oder verzögert reagieren. Der einfachste und durchsichtigste Versuch, durch den man sich hiervon überzeugen kann, ist der folgende. Man befestigt auf einem tiefschwarzen Grund ein blaues und ein rotes Papierstreifchen, am besten zwei Quadrate übereinander, so daß die rechten und linken Ränder von beiden in dieselbe Gerade fallen. Diese betrachtet man bei stark herabgesetzter Beleuchtung, und zwar vermindert man diese am besten soweit, daß an dem blauen Feldchen die Farbe nicht mehr deutlich erkennbar ist. Bewegt man nun das Blatt schnell von rechts nach links oder umgekehrt, ohne mit dem Blick zu folgen, so sieht man sehr deutlich, wie der Rand des roten Papiers dem des blauen ein wenig vorausläuft. Dies ist namentlich auch dann der Fall, wenn man die Papiere so gewählt hat, daß bei der herabgesetzten Beleuchtung das blaue Papier beträchtlich heller als das rote erscheint. Auch in mancherlei anderer Weise machen sich diese Ungleichheiten der zeitlichen Verhältnisse geltend. Läßt man z. B. in einem sonst ganz dunklen Raum und bei gut dunkeladapiertem Auge ein mäßig helles gesättigt blaues Objekt durch das Gesichtsfeld hingleiten, so sieht man einen schmalen voranlaufenden Rand tiefblau; an ihn schließt sich ein unter Umständen beträchtlich hellerer weißer Schweif, der das etwas spätere Einsetzen und die längere Dauer der Stäbchenerregung anzeigt[4]). Eine schon von alten Zeiten her bekannte Erscheinung, die hierher gehört und in diesem Zusammenhange ihre Erklärung findet, ist die der sogen. *flatternden Herzen*. Sie besteht in folgendem. Wenn man auf farbigen Täfelchen Figuren von einer anderen Farbe anbringt und dann die Täfelchen hin und her bewegt, so hat man unter gewissen Bedingungen den frappierenden Eindruck, daß die Figuren auf den Täfelchen ein wenig hin und herrutschen. Die Bewegung der Figur und des Grundes erfolgt scheinbar nicht gleichzeitig, sondern zeitlich gegeneinander verschoben. Die Erscheinung ist am schönsten zu sehn, wenn man blaue oder blaugrüne Figuren auf rotem Grunde (oder umgekehrt) verwendet und bei etwas herabgesetzter Beleuchtung beobachtet. Man hat dann zwei Farben, von denen die eine ausschließlich auf die Zapfen, die andere dagegen überwiegend auf die Stäbchen wirkt.

Diese wie gesagt wohlbekannten Tatsachen ergeben nun ohne weiteres die Erklärung der erwähnten Erscheinung. Vergleichen wir rotes und farbloses Licht nach der Stereomethode zunächst bei hohen Lichtstärken und helladaptiertem Auge, so wird dem Rot ein Grau stereogleich gefunden, das mit ihm annähernd die gleiche *Zapfenhelligkeit* besitzt. Dabei sind die Dämmerungswerte der beiden Lichter überaus verschieden, der des Rot verschwindend gering im Vergleich zu dem des Grau. Setzen wir nun die Helligkeit herab, und gewinnen die Augen allmählich einen gewissen Grad von Dunkeladaption, so gewinnt das Grau gegenüber dem Rot an Eindruckshelligkeit. Dieser Gewinn beruht aber auf der Beimischung der trägeren Stäbchenfunktion, und so wird der Stereowert des Grau dabei nicht wie die Eindruckshelligkeit *vermehrt*, sondern im Gegenteil *vermindert*. Bei sehr geringen Lichtstärken und hoher Dunkeladaption müssen wir, um Stereogleichheit zu erzielen, die Eindruckshelligkeit des im wesentlichen mit den Stäbchen gesehenen Grau weit höher machen, als die des allein mit den Zapfen gesehenen Rot.

Es erklären sich auf diesem Wege auch die etwas verwickelten Erscheinungen, denen wir beim Vergleich von *Blau und Grau* begegnen. Es ergibt sich nämlich, daß bei abnehmender absoluter Lichtstärke und entsprechender fortschreitender Dunkeladaption der *Stereowert des Blau im Verhältnis zu Grau anfänglich ab, dann aber auch zunimmt*. Den ganzen Zusammenhang macht die nachstehende Zusammenstellung übersichtlich, deren Einrichtung im übrigen die gleiche ist, wie die vorhin für rotes Licht mitgeteilte.

Einstellung des Rauchglaskeiles auf Stereogleichheit mit Blau.

Helligkeitsstufe	Beobachter A		Beobachter B	
1	20	19,9	18,5	18,6
2	21,1	20,9	19,9	19,8
3	20,3	21,1	19,7	20,1
4	22,5	21,9	21,6	21,8
5	24,3	23,9	22,3	23,4
6	17,1	19	16	15,9
7	15	—	15,6	—
8	9,1	—	11,4	—

Auch diese Erscheinungen nun sind, wie gesagt, in sehr einfacher Weise aus unseren An-

[4]) Genaueres über diese Erscheinungen findet man in meiner Bearbeitung der Gesichtsempfindungen a. a. O. S. 323, ferner in *Helmholtz*, Physiolog. Optik, 3. Aufl., *II*, S. 371.

schauungen vom Sehorgan verständlich zu machen. Bei hoher Lichtstärke und Helladaption erscheinen ein Blau und ein Grau stereogleich, wenn ihre Zapfenhelligkeiten annähernd übereinstimmen. Dabei ist der Dämmerungswert des Blau beträchtlich höher, wenngleich der Unterschied lange nicht so groß ist, wie der entgegengesetzte zwischen stereogleichem Rot und Grau. Wenn nun das Licht geschwächt wird, so wird hier der höhere Dämmerungswert des Blau in der gesteigerten Eindruckshelligkeit zur Erscheinung kommen, wiederum aber der Stereowert wegen der größeren Trägheit der Stäbchenreaktion nicht herauf, sondern heruntergehn. Diese Änderung der Einstellungen entspricht also ganz dem, was wir auch beim Rot haben: es ist eine Änderung im entgegengesetzten Sinne des Purkinjephänomens. Daß nun diese bei noch weitergehender Verdunkelung durch eine Änderung im entgegengesetzten Sinne, also durch eine (dem P.-Phänomen entsprechende) relative Erhellung des Blau abgelöst wird, hat seinen Grund im folgenden. Wenn die Verdunkelung einen gewissen Grad erreicht hat, so unterschreiten wir für beide Lichter die Zapfenschwelle; es wird dann überhaupt nur noch mit den Stäbchen gesehen. Sobald dieser Punkt erreicht ist, stellen die relativ höheren Dämmerungswerte des blauen Lichtes für dieses eine Benachteiligung im Stereoverfahren nicht mehr dar; vielmehr wird jetzt auch im Stereoverfahren einfach auf Gleichheit der Dämmerungswerte eingestellt. Dies bestätigt sich in der Tat darin, daß, wie die direkte Beobachtung zeigt, derjenige Grad der Verdunkelung, bei dem die Änderung in einem Sinne in die entgegengesetzte umschlägt, etwa der gleiche ist, bei dem das Blau nicht mehr farbig gesehen wird. Es bestätigt sich auch darin, daß, wenn wir bei den höchsten Verdunkelungsgraden nach dem vorhin erwähnten Verfahren das rechts- und linksäugig Gesehene direkt vergleichen und auf diese Weise blaues und graues Licht auf gleiche Helligkeit einstellen, ihnen also gleiche Dämmerungswerte geben, wir auf denselben Wert kommen, den das Stereoverfahren ergibt. Es fand sich hierfür eine Einstellung auf 10 bis 11′ erforderlich.

Ich muß hier die Bemerkung einschalten, daß auch *Pulfrich* offenbar die gleichen Erscheinungen wenigstens teilweise schon beobachtet, jedoch in ganz anderm Sinne gedeutet hat. Auch er bzw. seine Mitarbeiter fanden, wenn sie die Brennstärke der beleuchtenden Lampe variierten, daß mit zunehmender Brennstärke der Stereowert des von einem Rotfilter durchgelassenen Lichtes im Vergleiche zum ganzen Licht sank. Indem nun *Pulfrich* stillschweigend von der Voraussetzung ausging, die er wohl für selbstverständlich erachtet hat, daß das Verhältnis der Stereogleichheit von absoluter Intensität und dem Zustand des Sehorgans unabhängig sein müsse, gelangt er zu der Folgerung, „daß bei den Rotfiltern mit zunehmender absoluter Lichtstärke eine Änderung des Verhältnisses der durchgelassenen Lichtmenge zur auffallenden eintritt, und zwar immer in dm Sinne, daß der verhältnismäßige Anteil der durchgelassenen Lichtmenge an der auffallenden mit zunehmender Helligkeit der Lampe immer kleiner wurde". (A. a. O. S. 60.) Ganz das Nämliche fand sich bei wechselnder Beleuchtung roter Flächen, und so folgert *Pulfrich* entsprechend, „daß die Albedo roter Flächen mit abnehmender Leuchtkraft unserer Osramlampe immer mehr zunimmt". — Unstreitig setzen sich nun aber diese Auffassungen in Widerspruch zu physikalischen Anschauungen, die von grundlegender Bedeutung sind und meines Wissens allgemein als gesichert gelten. Überall wird davon ausgegangen, daß bei absorbierenden Medien (von den besonderen Ausnahmefällen der sogen. selektiven Absorption abgesehen) das durchgehende Licht einen bestimmten, von der Intensität nicht abhängigen Bruchteil des auftreffenden darstellt, also in strenger Proportionalität mit diesem zu- und abnimmt. Diese Annahme wird namentlich bei der Ableitung des Zusammenhanges zwischen der Dicke der absorbierenden Schicht und dem Betrag des durchgelassenen Lichtes zugrunde gelegt; und in der tatsächlichen Giltigkeit des sich ergebenden bekannten Exponentialgesetzes bestätigt sich die Richtigkeit jener Annahme. Das analoge Proportionalitätsgesetz wird auch für die Zurückwerfung des Lichtes, und zwar sowohl für die regelmäßige Spiegelung, wie für die diffuse Zurückwerfung im allgemeinen zugrunde gelegt; es wird also auch angenommen, daß ein nicht selbst leuchtender Körper (wiederum von besonderen Ausnahmefällen, wie Fluoreszenz u. dgl. abgesehen) in der einen wie in der anderen Form einen bestimmten, von der Intensität nicht abhängigen Bruchteil des ihn treffenden Lichts zurückwirft. Wie mir scheint, wird man daher an Abweichungen von diesen Annahmen erst dann zu denken haben, wenn die Beobachtungen in ganz zwingender Weise dazu nötigen. Solange es sich aber um Tatsachen handelt, die auch eine ganz andere Auffassung zulassen, wird man diese als die richtige in Anspruch zu nehmen berechtigt sein, um so mehr, wenn sie sich, wie das hier der Fall ist, in einer befriedigenden Weise auf anderweit erwiesene Tatsachen stützen kann[5]).

---

[5]) Sehr möglich ist dagegen, worauf *P.* auch hinweist, daß bei seinen Beobachtungen die qualitative Veränderung der Beleuchtung mit ins Spiel gekommen ist, die mit der wechselnden Brennstärke der Osramlampe verknüpft ist. Da bei geringer Brennstärke (Rotglut) die langwelligen Lichter im Verhältnis zu den kurzwelligen stärker vertreten sind als bei hoher Brennstärke (Weißglut), so kann allerdings auch hierdurch eine relative Begünstigung des Rot bei abnehmender Beleuchtung herbeigeführt werden. Für die interessierende Frage, ob die Stereogleichungen bei pro-

Übrigens hat wohl auch P. die Angelegenheit nicht als ganz spruchreif erachtet. Er sagt selbst (S. 61), daß die Sache im Hinblick auf die abweichenden Verhältnisse des Purkinjeschen Phänomens noch genauer untersucht zu werden verdiene.

Zusammenfassend ist zu sagen, *daß das Verhältnis der Stereogleichheit in sehr beträchtlichem Maße von der absoluten Stärke der verglichenen Lichter und dem Zustande des Sehorgans abhängt.* Die Erklärung dafür liegt darin, daß der von *Pulfrich* angenommene Zusammenhang zwischen Lichtstärke und den zeitlichen Verhältnissen der physiologischen Vorgänge allerdings zweifellos besteht, daß es aber nicht allein auf die Lichtintensitäten, sondern daneben noch auf eine Reihe weiterer Umstände ankommt. Unter diesen ist die wechselnde Beteiligung der zeitlich stark ungleich funktionierenden beiden Bestandteile des Sehorgans an die Spitze zu stellen. Ausdrücklich möchte ich jedoch betonen, daß diese allgemeine Anschauung wohl genügt, um die hier besprochenen Haupterscheinungen verständlich zu machen, aber natürlich nicht ausreichen kann, um alle Einzelheiten, die uns beim Stereoverfahren begegnen, zu erklären. Dazu müßten wir die zeitliche Gestaltung der Vorgänge in jedem einzelnen Bestandteil, ihre Abhängigkeit von Reizstärke und Adaptionszustand genauer kennen als das zurzeit der Fall ist; namentlich aber müßten wir auch erst darüber unterrichtet sein, auf welchen Zeitwert es für den Stereoerfolg ankommt. Auf alle diese Fragen zurückzugreifen sind wir genötigt, sobald wir das ganze Stereoverfahren weiter durchexperimentieren und noch andere als die hier erwähnten Variierungen der Bedingungen einführen. Ein ergiebiges Feld für weitere Untersuchungen eröffnet sich z. B., wenn man Bedingungen herstellt, bei denen der Adaptionszustand der beiden Augen verschieden ist. Ich begnüge mich, hier den einfachsten dieser Versuche zu erwähnen, der die obigen Darlegungen in interessanter Weise illustriert und den zugrunde gelegten Anschauungen zur Bestätigung dient. Er besteht darin, daß man die oszillierende Marke ohne Heranziehung sonstiger Veranstaltungen (grauer oder farbiger Gläser) mit einem dunkel- und einem helladaptierten Auge betrachtet, und zwar bei einer Beleuchtung, die soweit abgeschwächt ist, daß wenigstens für das dunkeladaptierte Auge die Funktion des Dämmerungsapparates neben der der Zapfen ansehnlich ins Gewicht fällt, anderseits natürlich nicht so schwach, daß etwa die Stäbchen nur noch allein funktionieren und die Zapfen ganz ausgeschaltet sind*). Am zweckmäßigsten stellt man in demjenigen Raum, in dem die oszillierende Marke aufgestellt ist, von vornherein die geeignete Beleuchtung her, so daß die Marke, unmittelbar nachdem die Augen in den gewünschten Zustand gebracht sind, sogleich bei dieser Beleuchtung beobachtet werden kann. Um diesen Zustand der Augen herbeizuführen, bedecke man das eine, z. B. das rechte Auge, mit einem mäßig dicken Wattepolster und binde darüber ein passend zusammengelegtes schwarzes Tuch, das breit genug sein muß, um nach oben und unten beträchtlich die Augenhöhle zu überragen. Man erreicht es dann leicht, daß das rechte Auge wenn nicht absolut, doch sehr annähernd lichtdicht abgeschlossen ist. Man verweile dann ca. 20 Minuten in einem vom Tageslicht gut erleuchteten Raum und schaue zweckmäßig noch die letzten 3 bis 4 Minuten durch ein Fenster in den hellen Himmel, um so das linke Auge in den Zustand einer starken Helladaption zu bringen. Man gehe dann ohne Zeitverlust in das Beobachtungszimmer und entferne, wenn man vor der oszillierenden Marke sitzt, den verdunkelnden Verband vom rechten Auge. Man sieht dann aufs deutlichste die Marke im entgegengesetzten Sinne des Uhrzeigers kreisen, in demjenigen also, den die Scheinbewegung bei gleichem physiologischen Zustand beider Augen hat, wenn das rechte *schwächeres* Licht erhält. Durch abwechselndes Schließen des einen und anderen Auges überzeugt man sich leicht, daß das rechte dunkeladaptierte Auge, wie zu erwarten, alles erheblich *heller* als das linke sieht. Die einseitige Vermehrung der gesehenen Helligkeit wirkt also, wenn sie durch *Adaption* bewirkt wird, gerade in der entgegengesetzten Weise auf die Stereowahrnehmung, als wenn sie durch *vermehrte Lichtstärke* herbeigeführt wird. Auch in dieser Form bestätigt sich, daß die Dunkeladaption zwar die gesehene Helligkeit steigert, den Stereowert dagegen vermindert.

Die angeführten Tatsachen lassen erkennen, daß auch die Stereomethode nicht geeignet ist, das Problem ungleichfarbiger Helligkeitsvergleichung in einer Weise zu lösen, die alle Wünsche befriedigt und alle Schwierigkeiten beseitigt. Besonders deutlich zeigt sich aber zugleich auch, daß dieses Ziel überhaupt nicht erreichbar ist. Verschiedene Definitionen dessen, was unter der gleichen Helligkeit ungleichfarbiger Lichter verstanden werden soll, führen zwar in gewissem Umfange zu annähernd übereinstimmenden Ergebnissen, so daß die Bevorzugung einer bestimmten berechtigt und ausreichend erscheinen kann. Wenn aber unter anderen Bedingungen

portionaler Intensitätsänderung aller Lichter gültig bleiben, ist natürlich ein Verfahren, bei dem die Stärken der einzelnen Lichtanteile in ungleichem Verhältnis variiert werden, wenig geeignet. Bei unserm Verfahren ist an die Einmischung solcher Verhältnisse nicht zu denken. Wie weit sie bei den Paschen Versuchen mit ins Spiel gekommen sind, entzieht sich einer sicheren Beurteilung.

*) Nach vorläufiger Orientierung möchte ich Beleuchtungen von 1 bis 10 Meterkerzen am meisten empfehlen, solche also, bei denen die räumliche Unterscheidungsfähigkeit gegenüber der bei „guter Beleuchtung" schon etwas, aber noch nicht sehr stark herabgesetzt ist. Doch ist die Erscheinung auch bei beträchtlich höheren Beleuchtungen noch gut zu sehen.

die verschiedenen Methoden zu gänzlich verschiedenen Resultaten führen, z. B. Stereogleichheit und Eindrucksgleichheit weit auseinander fallen, so wird es nicht angängig erscheinen, jene als die schlechtweg maßgebende allein zu berücksichtigen. Wenn ferner auch die Ergebnisse der Stereomethode von der absoluten Intensität der angewandten Lichter und von dem Zustand des beobachtenden Auges in so auffälliger Weise abhängen, wie es tatsächlich der Fall ist, so erscheint damit die Brauchbarkeit der betreffenden Definition und die Bedeutung der mit dieser Methode erhaltenen Ergebnisse zunächst in Frage gestellt.

Die weiteren Erwägungen, die wir an diese Feststellungen knüpfen, ordnen sich naturgemäß *unter zwei ganz verschiedenen Gesichtspunkten.* Der erste bestimmt sich durch die Aufgabe und den Wunsch einer Helligkeitsvergleichung ungleichfarbiger Lichter und die gesamten *praktischen Interessen*, aus denen sich dieser Wunsch ergibt, und die zur Beschäftigung mit dieser Aufgabe immer wieder veranlaßt haben. Ist, wie wir eben betonten, die Stereomethode nicht geeignet, diese Aufgaben allein und restlos zu lösen, so kann doch gefragt werden, wie weit sich ihr Nutzen und ihre Bedeutung erstreckt, unter welchen Bedingungen sie trotz der erwähnten Komplikationen wertvoll und verwendbar bleibt. In dieser Hinsicht kann man wohl folgendes sagen. Wenn wir auch auf dem Standpunkt stehen, daß es Sache einer zweckmäßigen Festsetzung, einer Übereinkunft ist, was als gleiche Helligkeit verschiedener Farben definiert werden soll, so werden wir doch als erste Anforderung an eine solche Definition die aufstellen müssen, daß sie sich mit der zwar etwas unbestimmten, in letzter Instanz aber doch maßgebenden des unmittelbaren Eindrucks nicht in starken Widerspruch setzen darf. Eine Definition, derzufolge wir zwei Lichter gleich hell zu nennen hätten, von denen dem unmittelbaren Eindruck nach das eine weit heller als das andere erscheint, eine Definition also, die in ihren Ergebnissen mit der Eindruckshelligkeit gänzlich auseinanderfällt, wird als ungeeignet abzulehnen sein. Sie würde mindestens zu fortwährenden Verwechslungen und Mißverständnissen Anlaß geben. Solche Unstimmigkeiten kommen ja nun für die Stereomethode tatsächlich vor. Sie sind jedoch an ganz bestimmte Bedingungen geknüpft, die wir theoretisch dahin ausdrücken können, daß am Sehen die *beiden* Bestandteile des Sehorgans, der dem Dämmerungssehen und der dem Tagessehen dienende beteiligt sind. Hieraus ergibt sich mit Wahrscheinlichkeit die Folgerung, daß die Unstimmigkeiten, die die Stereomethode in sich zeigt, nicht zur Geltung kommen werden, wenn die Beobachtungen auf Bedingungen beschränkt sind, die ein *annähernd reines Tagessehen* gewährleisten, d. h. bei hohen Lichtstärken und helladaptiertem Auge. Die Definition der Stereogleichheit wäre daraufhin so zu modifizieren, daß stereogleich zwei ungleichfarbige Lichter zu nennen sind, wenn sie, bei *hoher absoluter Stärke* und *helladaptierten Augen verglichen*, keinen von Null verschiedenen Stereoeffekt geben. Diese Definition ist unter dem vorhin erwähnten Gesichtspunkt ohne Zweifel zulässig. Denn, wie vorhin erwähnt, sind Lichter, die in diesem Sinne stereogleich sind, unter denselben Bedingungen (hohe Lichtstärke und Helladaption) auch annähernd eindrucksgleich. Ob das Verhältnis der Stereogleichheit von den absoluten Lichtstärken unabhängig ist, wenn diese unter einen gewissen Betrag nicht heruntergehen, bedarf allerdings noch einer genaueren Prüfung, kann aber vorderhand mindestens als wahrscheinlich gelten.

Wird die Definition der Stereogleichheit und die Anwendung der Methode in dieser Weise beschränkt, so wird sie sich vermutlich wegen der Schärfe ihrer Ergebnisse in einem Umfange und in einem Sinne brauchbar erweisen, die hinter den Erwartungen ihres Urhebers kaum zurückbleiben. Was sich in unseren Versuchen herausgestellt hat, hat dann nur die Bedeutung, daß es auf gewisse Regeln hinweist, die bei der Anwendung des Verfahrens eingehalten werden müssen. Gleichwohl bedarf es dann doch einer gewissen Vorsicht, um sich über Bedeutung und Tragweite der mit dem Stereoverfahren erhaltenen Ergebnisse nicht zu täuschen. Vor allem ist zu beachten, daß sie sich eben nur auf die Verhältnisse des Tagessehens beziehen, daß die für Tagessehen stereogleichen Lichter an Dämmerungswert gänzlich verschieden sein können. Es dürfte sich wohl empfehlen, dem auch in der Terminologie Rechnung zu tragen. In der Physiologie ist das seit langem üblich. Wir machen den Unterschied, ob Lichter „tagesgleich" oder „dämmerungsgleich" sind. Im Sinne der Duplizitätstheorie kann man auch von „Zapfengleichheit" und „Stäbchengleichheit" sprechen. Ich möchte hier bemerken, daß in den Arbeiten amerikanischer Untersucher, die sich zum Zwecke beleuchtungstechnischer Aufgaben mit der heterochromen Photometrie beschäftigen (*Troland, Nutting* u. a.), diese Unterscheidung seit geraumer Zeit vollkommen streng durchgeführt ist. Es wird hier einfach von Zapfenhelligkeit und von Stäbchenhelligkeit gesprochen. Diese Beobachter haben ihre Untersuchung streng auf den Boden der Duplizitätstheorie gestellt; sie sind mit den maßgebenden physiologischen Tatsachen vollkommen bekannt und sind dadurch vor den Täuschungen geschützt, denen man im entgegengesetzten Falle ausgesetzt ist.

Nicht minder aber muß man auch im Auge behalten, daß wenn wir die Gleichheit der Helligkeit nach den für das Stereoverfahren maßgebenden zeitlichen Verhältnissen definieren, dies, wie oben schon betont, die Bedeutung einer Festsetzung oder Übereinkunft hat. Man darf sich also durch den Ausdruck der Helligkeitsgleich-

heit nicht zu der Annahme verleiten lassen, daß die stereogleichen Lichter auch in allen möglichen andern Hinsichten, die mit der Helligkeit irgendwie im Zusammenhang stehen, gleich sein müssen. So ist es zunächst eine offene Frage, ob die stereogleichen Lichter auch minimalfeldgleich sind. Namentlich aber versteht sich auch nicht von selbst, daß sie in derjenigen Hinsicht als gleich zu bewerten sind, die praktisch die größte Bedeutung besitzt, nämlich hinsichtlich der räumlichen Unterscheidung, die sie gestatten. Man kann zwei Lichter ungleicher Farbe, die, als Beleuchtungen benutzt, die gleiche Fähigkeit räumlicher Unterscheidung (gleiche Sehschärfe) ergeben, „erkennungsgleich" nennen. Auch ob die stereogleichen Lichter erkennungsgleich sind, erscheint zunächst fraglich und darf jedenfalls nicht als selbstverständlich vorausgesetzt werden.

Wir können nun aber auch an zweiter Stelle, den Gedanken an praktische Aufgaben, insbesondere an eine heterochrome Photometrie, ganz zurückstellend, die Erscheinungen unter *ganz allgemeinen physiologischen Gesichtspunkten* betrachten. Den maßgebenden Grund für die eigenartigen Erscheinungen, denen wir bei der binokularen Betrachtung bewegter Objekte begegnen, hat *Pulfrich*, ohne Zweifel mit Recht, in den besonderen zeitlichen Gestaltungen der Empfindungsvorgänge erblickt. Geht man hiervon aus, so können wir sagen, daß eben dieses Verfahren, die *binokulare Beobachtung bewegter Objekte*, ein feines und wertvolles Hilfsmittel darstellt, um uns über die zeitlichen Verhältnisse der Erregungs- und Empfindungsvorgänge zu unterrichten. Die Ungleichheiten, die in dieser Hinsicht zwischen den beiden Bestandteilen des Sehorgans bestehen, kommen in den vorhin erwähnten Tatsachen besonders eindrucksvoll zur Erscheinung, so daß die hierüber schon vorliegenden älteren Feststellungen dadurch in wertvoller Weise ergänzt werden. Schaltet man diese Komplikationen aus, beobachtet man also bei reinem Tages- oder reinem Dämmerungssehen, so bestätigt sich *in beiden Fällen* die allgemeine Grundregel, von der *Pulfrich* ausgegangen ist: die maßgebenden Zeitwerte nehmen mit wachsender Lichtstärke ab. Aber es erhebt sich hier sogleich eine ganze Reihe physiologisch bedeutsamer Fragen. Man kann, wie oben schon kurz berührt, im Zweifel darüber sein, auf welche Zeitwerte es eigentlich ankommt. Man kann daran denken, daß der Stereoerfolg wesentlich davon abhängt, wie schnell nach Einsetzen eines Reizes die Empfindung *beginnt*, aber es könnte wohl auch darauf ankommen, wie schnell sie ansteigt und wann sie ihren *Höchstwert* erreicht. Die von *Pulfrich* schon herangezogenen physiologischen Erfahrungen geben in dieser Hinsicht keinen Anhalt. Die Beobachtungen von *Fröhlich* (Zeitschr. für Sinnesphysiologie *54*, S. 58, 1922) zeigen, daß die Empfindung bei stärkeren Reizen früher einsetzt. Allein daraus folgt natürlich noch nicht, daß hierin der allein maßgebende Umstand zu erblicken ist. Nach den alten Angaben *Exners* soll bei starken Reizen der Höchstwert der Empfindung früher als bei schwachen erreicht werden. Daß aber das von *E.* benutzte Verfahren bzw. die Deutung, die er seinen Beobachtungen gibt, zu begründeten Bedenken Anlaß gibt, habe ich schon auseinandergesetzt (Nagels Handbuch der Physiologie *III*, S. 228). Bei der tatsächlichen Gestaltung des Stereoverfahrens ist aber auch noch an eine Reihe weiterer Umstände zu denken. Lassen wir einen Stab vor einem Hintergrunde vorbeigleiten, so findet an derjenigen Stelle der Netzhaut, über die das Bild des Stabes hingleitet, ein zweimaliger Lichtwechsel statt. Bewegt sich ein dunkler Stab vor hellem Grunde, so findet an jeder Stelle eine Verdunkelung statt, die sogleich von einer Wiedererhellung gefolgt wird; bewegt sich dagegen ein weißer Stab oder Streifen vor dunkelem Grunde, so haben wir in kurzem Zwischenraum Erhellung und Wiederverdunkelung. Von vornherein ist also auch die Möglichkeit in Betracht zu ziehen, daß für den Stereoerfolg diejenige Geschwindigkeit in Betracht kommt, mit der beim Abbrechen des Lichtreizes die Empfindung *absinkt*. Daß dies bei hohen Lichtstärken schneller als bei geringen stattfindet, kann allerdings auch für wahrscheinlich gelten, ist aber bis jetzt mehr durch theoretische Erwägungen als durch direkte Beobachtungen erwiesen. — Daß die verwickelten rhythmischen Erscheinungen, die namentlich bei Einwirkung sehr kurz dauernder Reize beobachtet werden, dabei einen Anteil haben sollten, darf wohl als unwahrscheinlich ausgeschlossen werden, weil die Zeiten, in denen diese der primären Empfindung folgen, viel zu lang sind. Das zweite Aufleuchten z. B., das besonders in der eleganten Form des *„nachlaufenden Bildes"* zur Erscheinung kommt, folgt dem primären in einem zeitlichen Abstand von ¼ bis ⅓ Sekunde. Von Interesse ist aber im gegenwärtigen Zusammenhang die bekannte Tatsache, daß die primäre Erregung der Stäbchen durch Dunkeladaption zeitlich stark in die Länge gezogen wird. Ein das Gesichtsfeld durchlaufender blauer Gegenstand erscheint für das dunkeladaptierte Auge in einen nachlaufenden weißen Schweif ausgezogen, der mit fortschreitender Adaption immer länger wird. Ob etwas Ähnliches auch für die Zapfen zutrifft, ist bis jetzt nicht festgestellt. Gerade diesen Verhältnissen gilt übrigens eine Arbeit, die in jüngster Zeit von *Kovacs* (unter Leitung von *Fröhlich*) ausgeführt worden ist (Zeitschr. f. Sinnesphysiologie *54*, S. 161). Sie geht von der Frage aus, wie der zeitliche Verlauf der primären Empfindungen von der Stärke des erregenden Lichts, namentlich aber auch vom Adaptionszustande des Auges abhängt. Auf diese Beobachtungen wird bei der ausführlicheren Mitteilung unserer Versuche des genaueren einzugehen sein.

Ein großes physiologisches Interesse knüpft sich aber auch gerade an das Verhältnis der Stereogleichheit zu anderen mehr oder weniger ähnlichen, ebenfalls mit der Helligkeit zusammenhängenden Beziehungen, so z. B. um nur eines zu erwähnen, an die Frage, ob stereogleiche Lichter auch minimalfeldgleich sind. Doch ist hier nicht der Ort, auf die Bedeutung dieser Verhältnisse einzugehen. Wohl aber dürfen wir es aussprechen, daß die ganze hier in Frage kommende Gruppe von Erscheinungen, die *stereoskopische Wahrnehmung bewegter Gegenstände*, der physiologischen Untersuchung eine Reihe interessanter Aufgaben stellt und in mehr als einer Hinsicht wertvolle Ergebnisse erwarten läßt. Dieses Gebiet erschlossen zu haben, ist ein Verdienst von Herrn *Pulfrich*, für das ihm die Sinnesphysiologie großen Dank schuldet. Dem tut es keinen Abbruch, daß *Pulfrich*, mit gewissen Tatsachen aus der Physiologie des Sehorgans nicht bekannt, es unterlassen hat, sein Verfahren gerade in der Richtung zu prüfen, die uns am nächsten liegt, in bezug auf die Abhängigkeit der Stereogleichheit von den absoluten Lichtstärken und dem Adaptionszustande des Auges, und daß er aus diesem Grunde nicht in der Lage war, von den Grenzen, die seinem Verfahren gesteckt sind, oder von den Bedingungen, an die es geknüpft ist, ein vollständiges Bild zu erhalten. — Die Auffindung der ganzen Gruppe von Erscheinungen ist zugleich ein belehrendes Beispiel dafür, daß es kaum irgendwo ein Gebiet gibt, von dem wir behaupten dürften, es in wirklich erschöpfender Weise durchgearbeitet und durchgeprüft zu haben. Immer stoßen wir wieder auf Gestaltungen der bedingenden Umstände, die noch nicht in Betracht gezogen worden sind. So ergeben sich denn auch immer wieder Erscheinungen, die, auch wenn wir sie mit bekannten in Verbindung bringen können, sich doch als etwas Neues und Eigenartiges darstellen und dadurch besonderes Interesse gewinnen.

Das Problem des tierischen Farbensinnes[1]).

Von K. v. Frisch, Rostock.

Es ist etwa ein Dezennium verstrichen, seit *C. v. Heß* und ich bei Untersuchungen über den Lichtsinn und Farbensinn der Tiere zu diametral entgegengesetzten Ansichten gekommen sind. Daß seither mehr als 60 Arbeiten auf diesem Gebiete veröffentlicht wurden, ist ein Zeichen, wie anregend der Gegensatz gewirkt hat. Wenn wir heute einen Blick zurückwerfen, so hoffe ich, Ihnen zeigen zu können, daß die ursprüngliche Streitfrage entschieden ist und andere, speziellere Probleme im Mittelpunkt der Interessen stehen.

Nach der Anschauung von *C. v. Heß* ist der Farbensinn — das ist die Fähigkeit, Lichter von verschiedener Wellenlänge qualitativ (nicht nur nach ihrer Helligkeit) zu unterscheiden — eine phylogenetisch späte Errungenschaft der Tiere, die nur Wirbeltieren, und unter diesen nur den Amphibien, Reptilien, Vögeln und Säugetieren zukommt. Unter den letzteren fand er bei Affen einen Farbensinn, der mit dem des normalen Menschen übereinstimmt, während Hunde, Katzen und Kaninchen die Farben anscheinend weniger gesättigt sehen, als wir unter gleichen Verhältnissen. Ein tiefergreifender Unterschied besteht bei *Vögeln*. So sind Hühner zwar für rote und gelbe Farben so empfindlich wie wir[2]), für Grün dagegen und in noch höherem Maße für Blau und Violett sind sie im Vergleich mit dem Menschen *unter*empfindlich. Dies äußert sich z. B. darin, daß sie im Dunkelzimmer in einem Spektrum aufgestreute Reiskörner nur im Rot, Gelb und Grün aufpicken, die für uns deutlich sichtbaren Körner im Blau und Violett aber nicht mehr erkennen. Das gleiche gilt für Tauben und andere Vögel (vielleicht für alle Tagvögel). Sie sehen nach *Heß* die Welt der Farben so, wie sie uns bei Betrachtung durch eine rötlich-gelbe Brille erscheint: ein leuchtendes Blau verliert an Sättigung und sieht blaugrau aus; *v. Heß* hat auch die rötlichgelbe „Brille" des Vogelauges erkannt: sie ist in den roten und gelben Ölkugeln gegeben, die in den Zapfen der Vogelnetzhaut eingelagert sind; dieses Farbenfilter muß das Licht passieren, bevor es an die Zapfenaußenglieder gelangt. — Freilich ist über den Farbensinn der Vögel noch lange nicht das letzte Wort gesprochen. Die Dinge liegen keineswegs so klar, wie sie *v. Heß* darstellt. Es fehlt heute an Zeit, um auf diese Verhältnisse näher einzugehen. Doch eine Bemerkung möchte ich nicht unterdrücken. Wenn *v. Heß* meint, daß die blauen *„Schmuckfarben"* der Vögel als solche keine Bedeutung haben könnten, weil für die Vögel das Spektrum am blauen Ende verkürzt sei, so ist dieser Schluß zum mindesten verfrüht. In einem Spektrum aufgestreute Futterkörner werden von Hühnern auch im Blau aufgepickt (und also gesehen), sobald man das Blau nur genügend lichtstark macht (*v. Heß* 1917, S. 385, Anm. 2). Ein von der Sonne bestrahltes blaues Gefieder wird aber entschieden mehr blaues Licht reflektieren, als die im Dunkelzimmer mit spektralem Blau belichteten Reiskörner. Und noch

[1]) Vortrag, gehalten am 11. April 1923 vor der Zoologisch-botanischen Gesellschaft in Wien anläßlich der Verleihung der Rainermedaille.

[2]) Für Rot nach den Untersuchungen von *Honigmann* (1921) sogar erheblich empfindlicher als wir.

ein anderer Umstand mahnt zur Vorsicht: *v. Heß* gibt an, daß die roten und gelben Ölkugeln, durch die „die starke Verkürzung des Spektrums“[3]) bedingt ist, „besonders reichlich im hinteren oberen, für das Picken der Körner in erster Linie in Betracht kommenden Bezirke“ der Netzhaut eingelagert sind (1922, S. 69). Die an pickenden Hühnern gefundenen Werte der Unterempfindlichkeit für Blau beziehen sich nur auf diese, mit roten Ölkugeln besonders reich ausgestattete Netzhautstelle. Es bedarf keiner näheren Erörterung, daß die „Schmuckfarben“ auch mit anderen Netzhautstellen wahrgenommen werden, die nicht so reich an farbigen Ölkugeln und daher nach *Heß* für Blau empfindlicher sind.

Unter den Reptilien verhalten sich die Schildkröten ähnlich wie die Tagvögel, unter den Amphibien haben Frösche und Molche wahrscheinlich einen ähnlichen Farbensinn wie der Mensch.

Eine tiefe Kluft scheidet nach *v. Heß* die mit Farbensinn begabten Amphibien, Sauropsiden und Säuger von den total farbenblinden Fischen und wirbellosen Tieren. Seine Begründung dieser Ansicht ist ja bekannt: Für das normale, farbentüchtige Menschenauge ist die Helligkeitsverteilung im Spektrum eine andere als für das total farbenblinde Menschenauge; während der Farbentüchtige das Gelb am hellsten sieht, ist für den total Farbenblinden die hellste Stelle nach dem Gelbgrün bis Grün verschoben und das Spektrum am roten Ende verkürzt; nun sammeln sich Fische, die positiv phototaktisch sind, die also das Bestreben haben, die hellste Stelle ihres Behälters aufzusuchen, stets im Gelbgrün bis Grün, wenn man im Dunkelzimmer ein Spektrum in ihr Bassin wirft. Sie sammeln sich also an der Stelle, die dem total farbenblinden Menschen am hellsten erscheint. Bestrahlt man die beiden Hälften des Aquariums mit zwei beliebigen, verschiedenen Farben, so suchen sie stets die Hälfte auf, die für den total farbenblinden Menschen heller ist, und verteilen sich dann gleichmäßig im Behälter, wenn dem total farbenblinden Menschen beide Hälften gleich hell erscheinen. Die Helligkeitswerte der Farben sind also für sie die gleichen, wie für den total farbenblinden Menschen. Daher sind sie total farbenblind. — Die gleiche Beweisführung wurde auf Grund ausgedehnter Versuchsreihen und einer im einzelnen vielfach variierten Methodik bei Wirbellosen (Würmern, Mollusken, Echinodermen, Krebsen, Insekten) angewandt.

Wenn die Angaben richtig sind, kann man aus ihnen nur schließen, daß die Helligkeitswerte der Farben für die Fische und Wirbellosen dieselben sind wie für den total farbenblinden Menschen. Der Schluß auf totale Farbenblindheit der genannten Tiere ist nicht zwingend. Denn wenn für den total farbenblinden im Gegensatz zum farbentüchtigen *Menschen* das Spektrum am roten Ende verkürzt und im Grün am hellsten ist, so folgt daraus noch nicht, daß alle *Tiere*, für welche das Spektrum am roten Ende verkürzt und im Grün am hellsten ist, total farbenblind sind.

Tatsächlich läßt sich auf anderem Wege für *Fische* (Pfrillen, Phoxinus laevis L.) nachweisen, daß sie Farbensinn haben. Zum Verständnis des Versuches muß ich vorausschicken, daß die Pfrillen sich an Helligkeit und Farbe des Untergrundes anpassen[4]). Sie verdanken diese Fähigkeit der Anwesenheit von schwarzen, gelben und roten, gestaltveränderlichen Pigmentzellen in ihrer Haut. Die Anpassung wird durch Auge und Nervensystem vermittelt. Versetze ich von zwei gleich gefärbten Pfrillen die eine auf hellgrauen, die andere auf dunklergrauen Untergrund, so färbt sich die erste heller als die zweite, und zwar binnen weniger Sekunden. Versetze ich von zwei gleich gefärbten Pfrillen die eine auf gelben, die andere auf grauen Untergrund, so wird die erste am ganzen Körper deutlich gelber als die zweite; es ist für unseren Versuch von Wichtigkeit, daß diese Farbenanpassung später beginnt als die Helligkeitsanpassung und erst nach einigen Stunden vollendet ist. Schon die Tatsache, daß sich die Pfrillen auf gelbem Grunde gelb färben, spricht für Farbensinn, ist aber noch kein strenger Beweis. Einem total farbenblinden Auge würde der gelbe Grund als ein Grau von bestimmter Helligkeit erscheinen, und es ist die Möglichkeit zu bedenken, daß ein Grau von eben dieser Helligkeit die reflektorische Gelbfärbung des Fisches auslöst. Dann würde also der Fisch, so wie der total farbenblinde Mensch, den gelben Untergrund *grau* sehen; dann müßte aber auch ein grauer Untergrund, der *für den Fisch* die gleiche Helligkeit hat wie der gelbe, die gleiche Wirkung auf seinen Farbwechsel haben, das Gelb und das Grau wären ja für ihn identisch. Wie finde ich nun, um diese Möglichkeit zu prüfen, aus einer Serie grauer Papiere, die in feinen Abstufungen von Weiß bis zu Schwarz führt, das Grau heraus, welches *für den Fisch* die gleiche Helligkeit hat wie das Gelb? Der Fisch selbst sagt es mir an, wenn ich ihn abwechselnd auf gelben und grauen Untergrund setze. Bringe ich ihn vom gelben Grunde auf *dieses* Grau, so färbt er sich in wenigen Sekunden dunkler, das Grau erscheint ihm also dunkler als das Gelb. Bringe ich ihn vom Gelb auf *jenes* Grau, so hellt er sich auf, dies Grau ist also für

[3]) Wenn schlechtweg von einer „starken Verkürzung des Spektrums am blauen Ende“ oder von einer „Blaublindheit“ der Vögel gesprochen wird, so ist dies irreführend, da es sich eben um eine *Unter*empfindlichkeit für Blau (verglichen mit dem Menschen), nicht aber um eine *Un*empfindlichkeit für Blau handelt.

[4]) An die *Farben* nur in beschränktem Maße: sie färben sich auf gelbem und rotem Untergrunde gelblich, viele Individuen auch an bestimmten Körperstellen rot, während sie sich an grünen, blauen oder violetten Untergrund nur in ihrer Helligket anpassen.

ihn heller als das Gelb. Und so kann ich nach kurzem Suchen ein Grau finden, das beim Auswechseln gegen den gelben Untergrund keine Helligkeitsänderung des Fisches bewirkt und ihm somit gleich hell erscheint wie der gelbe Grund. Für einen total farbenblinden Fisch hätte ich nun zwei Grau von gleicher Helligkeit gefunden. Lasse ich aber jetzt den Fisch zwei Stunden auf dem Grau, so bleibt er grau; belasse ich ihn zwei Stunden auf dem Gelb, so färbt er sich regelmäßig gelb, und hiermit zeigt er uns, daß er das Gelb von dem für ihn gleich hellen Grau verschieden sieht. Das Gelb hat also für ihn nicht nur Helligkeitswert, sondern Farbwert — der Fisch hat Farbensinn. Den Versuch habe ich überdies in verschiedener Weise abgeändert und dadurch noch beweiskräftiger gestaltet (*v. Frisch* 1912 (a), 1912 (b)).

v. Heß hat demgegenüber bestritten, daß ein gelber Untergrund auf die Färbung der Pfrillen einen nachweislichen Einfluß habe (1913 b, S. 407) und noch 1919 meine betreffenden Angaben als unrichtig bezeichnet (*v. Heß* 1919 a, S. 31, 32). Auch ein anderer Münchener Ophthalmologe (*Freytag* 1914 a) konnte keine spezifische Farbenanpassung der Pfrille beobachten. Beide Autoren haben somit an einem Fischmaterial gearbeitet, das für den eben besprochenen Versuch zum Nachweis des Farbensinnes nicht geeignet war. *Haempel* und *Kolmer* (1914) haben gezeigt, daß die Provenienz der Fische von Wichtigkeit ist, und an Münchener Pfrillen meine Angaben bestätigt, während sie an Wiener Tieren die Gelbfärbung auf gelbem Grunde nicht so ausgesprochen fanden. Es freut mich, daß neuerdings auch die Münchener Augenklinik in den Besitz von Pfrillen gelangt ist, die sich auf gelbem Grunde regelmäßig gelb färben: *Schnurmann* (1920) versucht in seiner bei *v. Heß* ausgeführten Arbeit, diese Tatsache mit der Annahme einer totalen Farbenblindheit durch eine gezwungene Hilfshypothese zu vereinbaren, unterläßt aber hierbei einen naheliegenden Kontrollversuch, durch dessen Ausfall seine Hypothese widerlegt wird[5]).

Die Fähigkeit der Pfrillen, sich in ihrer Färbung an die Farbe des Untergrundes anzupassen, wird durch das Anpassungsvermögen der *Schollen* noch bei weitem übertroffen. *Mast* (1915, 1916) hat hierüber ausführliche Mitteilungen gemacht und hält auch seine Beobachtungen für unvereinbar mit der These einer totalen Farbenblindheit der Fische.

Noch einfacher als durch solche Anpassungsversuche läßt sich der Farbensinn der Fische durch Dressur auf farbiges Futter oder farbige Futternäpfe nachweisen. Ich habe solche Experimente auf dem Freiburger Zoologentag (1914 a) demonstriert, andere Untersucher haben das Ergebnis — zum Teil an anderen Fischarten und mit abgeänderten Methoden — bestätigt[6]), nur *v. Heß* ist die Dressur nicht gelungen (1913 b, S. 415—418).

Dressurversuche an *Bienen* haben gelehrt, daß auch den Insekten ein Farbensinn zukommt — was für jeden, der mit offenen Augen durch die Natur geht, von vornherein zu erwarten war[7]). Durch Zuckerwasserfütterung auf einer farbigen, z. B. gelben Unterlage lassen sich Bienen in ein bis zwei Tagen, ja bei entsprechender Versuchsanordnung binnen ein bis zwei Stunden auf Gelb dressieren. Sie befliegen dann das Gelb auch bei Abwesenheit von Futter und unterscheiden es mit Sicherheit von allen Helligkeiten einer fein abgestuften Grauserie, was einem total farbenblinden Wesen nicht möglich wäre[8]). Wir können bei den Bienen auf diesem Wege auch einen gewissen Einblick in die nähere Beschaffenheit ihres Farbensinnes gewinnen, einerseits indem wir sie der Reihe nach auf möglichst viele, verschiedene Farben dressieren (ich verwendete die 16 Heringschen Farbpapiere) und zusehen, ob sie all diese Farben von den Grauabstufungen unterscheiden, und ferner, indem wir den auf eine bestimmte Farbe dressierten Tieren die ganze Farbenserie vorlegen und zusehen, ob und in welchem Maße sie die Dressurfarbe, nach der sie nun suchen, mit anderen Farben verwechseln. Mit der ersten Methode fand ich, daß die Dressur auf Orangerot, auf Gelb, auf ein gelbliches Grün, auf Blau, Violett oder Purpurrot einwandfrei gelingt. All diese Farben werden von grauen Papieren jeder beliebigen Helligkeit sicher unterschieden. Dagegen wurde ein gewisses Rot regelmäßig mit Schwarz und Dunkelgrau verwechselt und ein gewisses Blaugrün von grauen Papieren mittlerer Helligkeit nicht unterschieden. Die zweite Methode ergab, daß regelmäßig Verwechslungen zwischen gewissen Farben vorkommen, die für ein normales Menschenauge voneinander sehr verschieden sind. Grün und Orangerot wird mit Gelb, Blau wird mit Violett und Purpurrot verwechselt. Dagegen werden die „warmen"

[5]) Ich komme hierauf an anderer Stelle zurück.

[6]) *White* 1919, *Reeves* 1919, *Schiemenz* in noch unveröffentlichten Versuchen aus dem Göttinger zoologischen Institut (Dressur auf Spektralfarben).

[7]) Bei den blütenbesuchenden Insekten ist die Frage nach einem Farbensinn von besonderem Interesse, und manche von ihnen eignen sich vorzüglich zu Dressurversuchen; bei anderen Insekten ist aber auch, wie bei Fischen, die Farbenanpassung an die Umgebung verwertbar. So fand *Brecher* (1922) an gewissen Schmetterlingsraupen, daß die auffallende Anpassung der aus ihnen hervorgehenden Puppen an die Farbe der Umgebung durch das Auge der Raupen vermittelt wird, und konnte auch hier eine *spezifische* Farbwirkung einwandfrei nachweisen. Hingegen sollen sich Stabheuschrecken nach *Schmitt-Auracher* (1921) an die Farben der Umgebung nur entsprechend deren farblosen Helligkeitswerten anpassen.

[8]) Auf die Einzelheiten der Versuchsanordnung und die zu beachtenden Fehlerquellen kann hier nicht eingegangen werden, vgl. diesbez. *v. Frisch* 1914b, 1919, 1922.

Farben einerseits, die „kalten" Farben anderseits voneinander ebenso sicher unterschieden wie von farblosem Grau. Ich kam dadurch (1914 b) zu der Überzeugung, daß der Farbensinn der Bienen mit dem Farbensinn der rotblinden (protanopen) Menschen weitgehend übereinstimmt und daß somit die Bienen „Dichromaten" sind. Auf diesen Punkt komme ich später noch zurück.

Ist nun ein Farbensinn unter den Wirbellosen etwa nur bei den hochorganisierten Insekten zu finden? Versuche, die ich 1913 gemeinsam mit *Kupelwieser* an niederen Crustaceen (*Daphnien*) unternommen habe, führten zu Ergebnissen, die nur durch die Annahme einer spezifischen Wirkung der Farben auf das Auge dieser „Wasserflöhe", und am einfachsten durch die Annahme eines dichromatischen Farbensinnes erklärt werden können. Läßt man nämlich ein geeignetes Material von Daphnia im Dunkelzimmer an weißes Licht von mittlerer Intensität adaptieren, und sind die Tiere nach einiger Zeit gleichmäßig in ihrem Gefäß verteilt, so reagieren sie auf jede *Herabsetzung* der Lichtintensität (wenn sie nicht zu geringfügig ist) durch Bewegung zur Lichtquelle hin. Schaltet man vor die Lichtquelle ein blaues Strahlenfilter, so ist dies für ein total farbenblindes Auge gleichbedeutend mit einer Herabsetzung der Lichtintensität, die Daphnien reagieren aber auf das Vorschalten des *Blau*filters in entgegengesetzter Weise wie auf Intensitätsverminderung, sie fliehen vor der Lichtquelle. Durch keine wie immer abgestufte Intensitätsverminderung des weißen Lichtes konnte dieser Erfolg ausgelöst werden. Anderseits reagieren die Daphnien auf jede *Steigerung* der Lichtintensität (innerhalb der bei unserm Apparat in Betracht kommenden Grenzen) durch Bewegung von der Lichtquelle fort. Fügt man aber zu dem weißen Licht, an welches die Daphnien adaptiert sind, *gelbes* Licht hinzu, so schwimmen die Tiere trotz der hiermit verbundenen Intensitätssteigerung auf die Lichtquelle zu. Es handelt sich demnach bei dem Einfluß von blauem und gelbem Licht auf die phototaktischen Bewegungen der Daphnien nicht nur um Intensitätswirkungen, sondern um spezifische Farbwirkungen. Bei Anwendung von Strahlenfiltern, die nur beschränkte, scharf umschriebene Spektralbezirke durchlassen, stellte sich heraus, daß der „positivierende" Einfluß dem Rot, Gelb und Grün bis etwa zur Linie *b* des Sonnenspektrums, die „negativierende" Wirkung dem Blaugrün, Blau und Violett zukommt.

Ewald (1914), *Koehler* (1921 und briefliche Mitteilungen) und, in etwas anderer Form, *Becher* (1921) haben die von uns gefundenen Tatsachen bestätigt, nur *v. Heß* sind die Versuche niemals gelungen, bei ihm verhalten sich die Daphnien nach wie vor so, wie es von total farbenblinden Wesen zu erwarten ist (*v. Heß* 1914 b, 1919 b, 1922, S. 79).

Becher zeigte, daß ultraviolettes Licht auf Daphnien besonders stark scheuchend wirkt, und hält für möglich, daß hier keine Farbwirkung im gewöhnlichen Sinne des Wortes, sondern vielleicht eine „Schmerzwirkung" vorliege[9]). Da in unseren Versuchen bei den verwendeten blauen Lichtern eine Mitwirkung ultravioletter Strahlen nicht ausgeschlossen war, seien unsere Ergebnisse noch kein zwingender Beweis für einen Farbensinn. Zwei Umstände scheinen mir sehr entschieden gegen diese Bechersche Auffassung zu sprechen: Erstens hat einer seiner Schüler, *Peters* (1921), zwei Cladocerenarten gefunden (Peracantha truncata und Scapholeberis mucronata), die gegen blaues und ultraviolettes Licht, im Gegensatz zu den anderen Cladoceren, *positiv* phototaktisch waren. Sie würden also regelmäßig die „Schmerzquelle" aufsuchen. Und ferner hat *Koehler*[10]) auch nach völliger Ausschaltung ultravioletter Strahlen die gleichen Resultate erhalten wie *Kupelwieser* und ich, und weiter gefunden, daß die Daphnien auch bei Verwendung *spektraler Lichter*, und zwar der Farbenpaare Gelbgrün-Violett, Gelb-Blau, Rot-Blaugrün jeweils die langwelligere Farbe aufsuchen, die kurzwelligere fliehen; auch hier ließ sich nach dem oben dargelegten Prinzip ausschließen, daß die Reaktion auf eine Intensitätsänderung zurückzuführen sei. Wollte man nun die spezifisch verschiedene Reaktion auf langwellige und kurzwellige Strahlen, mit Umgehung der Annahme eines Farbensinnes, durch eine „Schmerzwirkung" der kurzwelligen Strahlen erklären, so wäre diese „schmerzende Wirkung" nicht auf das Ultraviolett beschränkt, sondern würde sich durchs Violett und Blau bis ins Blaugrün erstrecken. Diese einzig dastehende Hypothese hat keine hinreichende Stütze. Viel einfacher erklären sich die Becherschen Befunde durch die Annahme, daß die Sichtbarkeitsgrenze des Spektrums für die Daphnien ins Ultraviolett hinaus verschoben ist — was, wie wir hören werden, auch für andere Arthropoden zutrifft.

Erhard (1913, 1921) ist an verschiedenen Crustaceen in Arbeiten, die unter der Leitung von *C. v. Heß* ausgeführt wurden, zu den gleichen Resultaten gekommen wie dieser. Gegen eine Schlußfolgerung auf totale Farbenblindheit besteht hier derselbe Einwand wie gegen die Heßsche Beweisführung: dadurch, daß der *Helligkeits*sinn eines Tieres mit dem des total farbenblinden Menschen übereinstimmt, kann nicht das Fehlen eines *Farben*sinnes bewiesen werden.

Wie bei den Crustaceen das Bestehen einer spezifischen Farbwirkung, so ist auch bei den Insekten das (von *Heß* zunächst strikte abgeleugnete) Gelingen der Dressurversuche bereits von

[9]) Der Angriffspunkt dieser Schmerzwirkung wäre *nur das Auge*; denn schon *van Herwerden* (1914) fand, daß Daphnien mit angeborenem oder künstlich erzeugtem Augendefekt im Gegensatz zu normalen Tieren auf ultraviolette Strahlen nicht negativ phototaktisch reagieren.

[10]) *Koehler* 1921 und weitere, noch unveröffentlichte Untersuchungen.

so vielen Seiten bestätigt worden, daß auch der Fernerstehende nicht mehr zweifeln wird. Ich verweise besonders auf *Kühn* (1921) und auf die umfangreichen, durch ihre Methodik ausgezeichneten Untersuchungen *Knolls* (1919, 1921, 1922), über welche Sie ja durch Vorträge, die er selbst an dieser Stelle wiederholt gehalten hat, hinreichend unterrichtet sind; er hat außer an Bienen auch bei Fliegen und Schmetterlingen Farbensinn nachgewiesen und bei allen diesen Insekten gegenüber Pigmentfarben bis in die Einzelheiten das gleiche Verhalten gefunden, wie ich an Bienen.

Es ist interessant, welchen Ausweg *v. Heß* neuerdings gesucht hat: wenn die dressierten Bienen farbige Papiere unterscheiden konnten, die für den total farbenblinden Menschen gleichen Helligkeitswert hatten, so sei dies durch den verschiedenen *Ultraviolett*gehalt der Papiere bedingt, der für das Bienenauge das eine Papier heller mache als das andere. Denn eben wegen der Ultraviolettempfindlichkeit der Biene brauche eine für das total farbenblinde Menschenauge gültige Gleichung zwischen zwei farbigen Flächen oder zwischen einer farbigen und einer farblosen Fläche nicht auch für das total farbenblinde Bienenauge zu gelten (1920 b, besonders S. 309). Dies steht aber in schroffem Widerspruch zu seinem früheren, an den gleichen Pigmentpapieren (und ohne Ausschaltung des Ultraviolett) gewonnenen Satze: „Eine blaue und eine gelbe Fläche, die dem total farbenblinden Menschenauge gleich hell erscheinen, wirken auch auf die Bienen wie gleich helle Flächen" (*v. Heß* 1916, S. 305). Früher konnte er auf Grund seiner Messungen „mit mathematischer Bestimmtheit" voraussagen, wie sich die Bienen gegenüber beliebigen farbigen oder farblosen Flächen verhalten würden, sobald deren Helligkeitswert für das total farbenblinde Menschenauge bekannt war (1918, S. 351, 352; ferner 1913 c, S. 103, 104; 1916, S. 302—306), jetzt sollen die Bienen unter den gleichen Bedingungen die gleichen Papiere infolge des verschiedenen Ultraviolettgehaltes ganz anders sehen als der total farbenblinde Mensch. Ist seine jetzige Behauptung richtig, so ist seine frühere falsch; hiermit zerstört er aber selbst zum guten Teil das Fundament, auf dem er seine Hypothese von der totalen Farbenblindheit der Insekten aufgebaut hat[11]).

Ich habe mich überzeugt, daß Bienen, die durch Fütterung auf unbedecktem blauem oder gelbem Papier auf diese Farben dressiert waren, die Dressurfarbe auch dann mit Sicherheit unter allen Grauabstufungen herausfanden, wenn vor Versuchsbeginn sämtliche Papiere mit Schwerstflintglas bedeckt wurden, das die ultravioletten Strahlen fast vollständig absorbiert. Der Dressurerfolg kann also nicht, wie *v. Heß* will, auf den verschiedenen Ultraviolettgehalt der Papiere zurückgeführt werden. Viel eleganter haben dies kürzlich *Kühn* und *Pohl* dargetan (1921) durch Dressur der Bienen auf Spektrallinien[12]). Nach Dressur auf die gelbe Linie eines Quecksilberspektrums (578 μμ) beflogen die Bienen spektrales Gelb und Grün, nicht aber kurzwelligere Spektrallinien. Variieren der Helligkeit innerhalb weiter Grenzen änderte hieran nichts. Nach Fütterung auf Blau (436 μμ) beflogen sie spektrales Blau und Violett, während nun der langwellige Bezirk völlig gemieden wurde. Weiter aber konnten sie feststellen, daß auch die Dressur auf Ultraviolett (365 μμ) gelingt, und fanden die interessante Tatsache, daß dieses Ultraviolett von weißem Licht wie auch von allen für uns sichtbaren Spektralbezirken qualitativ unterschieden wird[13]). Schließlich war

[11]) Den Leser der v. Heßschen Schriften möchte ich, sofern er sich für diese Fragen ernstlich interessiert, ganz allgemein bitten, bei den Stellen, die sich auf meine Arbeiten beziehen, diese selbst nachzusehen. Er wird darin wesentlich anderes gedruckt finden, als *v. Heß* zitiert — wie ich bei früherer Gelegenheit schon mehrmals gezeigt habe.

[12]) Auch *Knoll* (1922, S. 293—300) hat an Schmetterlingen Spektrumversuche angestellt und gezeigt, daß sie nach Dressur auf violettes Pigmentpapier spektrales Blau und Violett, nach Dressur auf gelbe Forsythiablüten spektrales Orange, Gelb und Grün anfliegen. — Von besonderem methodischen Interesse sind Versuche *Hamiltons* an Fliegen (Drosophila), über die leider bisher nur eine kurze vorläufige Mitteilung (1922) vorliegt: Die Fliegen wurden im Dunkelzimmer in ein horizontal gestelltes Glasrohr gebracht. Bestrahlt man sie von beiden Seiten, durch die beiden offenen Enden des Glasrohres, mit monochromatischem (spektralem) Licht von gleicher Wellenlänge, aber verschiedener Intensität, so eilen die (positiv phototaktischen) Fliegen nach dem helleren Ende. Macht man die Intensität der beiden Lichter gleich, so verteilen sie sich gleichmäßig im Glasrohr. Belichtet man sie von beiden Seiten mit monochromatischem Licht von *verschiedener Wellenlänge*, also mit zwei verschiedenen Farben, so läßt sich auch so, indem man die Intensität des einen Lichtes variiert, rasch ein Verhältnis finden, bei dem sich die Fliegen gleichmäßig im Rohr verteilen. Nun wird das Licht der einen Seite abgeblendet und die Tiere bleiben durch längere Zeit der Einwirkung des anderen (andersfarbigen) Lichtes ausgesetzt. Läßt man nach einiger Zeit wieder *beide* Farben (in der früheren Intensität) einwirken, so erweist sich die vorher gefundene Gleichung nicht mehr gültig, sondern die Fliegen sammeln sich sofort bei jener Farbe, für die sie nicht ermüdet sind. Dies Ergebnis ist nur verständlich, wenn die Lichter von verschiedener Wellenlänge *qualitativ* verschieden wirken. Für Monochromaten wären ja die zwei auf gleiche Wirkung eingestellten Farben zwei farblose Lichter von gleicher Helligkeit, und das Auge müßte daher durch das eine Licht auch für das andere Licht gleich stark ermüdet werden. Volle Beweiskraft erhält der Versuch durch folgende Kontrolle: man bestrahlt von beiden Seiten mit Lichtern von *gleicher* Wellenlänge, stellt auch jetzt die Intensität so ein, daß sich die Fliegen gleichmäßig verteilen, und blendet dann, wie beim früheren Versuch, das eine Licht durch einen Schirm ab; nach Entfernung des Schirmes verteilen sich die Fliegen ebenso gleichmäßig zwischen beiden Enden des Glasrohres wie vor der Abblendung.

[13]) *v. Heß* fand, daß das Ultraviolett im Arthropodenauge starke Fluoreszenz der brechenden Medien bewirkt. Gegen seine Annahme, daß die nervöse Substanz des Arthropodenauges *nur* durch das grüne Fluoreszenzlicht und nicht durch die ultravioletten Strahlen selbst erregt werde, hat schon *Becher* (1921,

ihnen auch die Dressur auf spektrales Blaugrün (492 μμ) möglich, das gleichfalls von den Bienen weder mit anderen Spektralfarben noch mit weißem Licht jeder beliebigen Helligkeit verwechselt wurde.

Diesem spektralen Blaugrün entspricht für das menschliche Auge ungefähr ein blaugrünes Pigmentpapier, welches die Bienen bei meinen Versuchen von grauen Papieren mittlerer Helligkeit nicht unterschieden hatten. Den Schlüssel zu diesem Widerspruch geben uns vielleicht folgende Versuche *Kühns* (1921), durch welche er unsere Kenntnisse vom Farbensinn der Bienen auch nach einer anderen Richtung wesentlich erweitert hat.

Er fütterte Bienen aus einem Schälchen, das auf einem quadratischen grauen Felde stand und von einem *ringförmigen Streifen aus blauem Pigmentpapier* umgeben war. Nach einigen Stunden ist die Dressur gelungen: werden den Bienen auf grauen Feldern verschiedener Helligkeit teils graue, teils blaue Ringe (jetzt natürlich ohne Futter) vorgelegt, so werden nur die letzteren, niemals die grauen Ringe beflogen. Doch fallen die Bienen sofort auch auf den grauen Ringen ein, wenn sie auf gelben Untergrund gelegt werden. Also: *dieselben* Grauringe (von verschiedenster Helligkeit), die *auf grauen Unterlagen* keine Wirkung auf die blaudressierten Bienen haben, locken sie *auf gelben Unterlagen* sofort an. „Ein graues Feld in gelber Umgebung erhält also für den Lichtsinn der Bienen den Reizwert von Blau."

Hierdurch ist für die Insekten der „simultane Farbenkontrast" erwiesen und zugleich gezeigt, daß Blau und Gelb nicht nur für das Wirbeltierauge, sondern auch für das so abweichend organisierte Bienenauge *„Komplementärfarben"* sind[14]). Wir dürfen gespannt sein, ob der Versuch auch mit Spektralfarben gelingt und insbesondere, ob sich auch Blaugrün und Ultraviolett für das Bienenauge als Komplementärfarben erweisen. Fast möchte ich es erwarten, denn so könnte sich der Widerspruch zwischen dem Mißlingen der Dressur auf das blaugrüne Pigmentpapier und dem klaren Erfolg bei Dressur auf spektrales Blaugrün einfach lösen: das blaugrüne Pigmentpapier reflektiert sehr viel Ultraviolett (*Kühn* und *Pohl* 1921), somit neben dem Blaugrün auch die Komplementärfarbe für das Bienenauge, und deshalb wirkt es auf dieses wie Grau. Ob es sich tatsächlich so verhält, können nur neue Versuche zeigen, für welche der Weg klar vorgezeichnet ist.

Sie sehen, hier ist noch manches im Fluß und wir dürfen hoffen, bald zu einem tieferen Verständnis des tierischen Farbensinnes zu gelangen, als noch vor kurzem möglich schien. Aber auch die Blütenbiologie wird gerade aus diesen Erfahrungen über den Farbensinn der Insekten neue Anregungen schöpfen. Ich möchte hier nur auf eines aufmerksam machen: *Knoll* hat u. a. geprüft, wie sich Schmetterlinge, die auf ein blauviolettes Pigmentpapier dressiert waren, gegenüber Blütenblättern verschiedenfarbiger, natürlicher Blumen verhalten. Er beobachtete, daß sie die blauen und purpurroten Blumenblätter beflogen, aber auch ziemlich leicht an gewisse *weiße* Blüten übergingen (*Knoll* 1922, S. 301—307). Es liegt nahe, einen gemeinsamen Ultraviolettgehalt des blauen Papieres und jener weißen Blumen dafür verantwortlich zu machen. Aber auch hier sind wir zunächst auf Vermutungen angewiesen. Es wird eine dankbare Arbeit sein, die Beziehungen zwischen den Blumenfarben und der Ultraviolettwahrnehmung der Blütengäste aufzudecken.

Doch unausgeführte Arbeiten sind empfindliche Wesen, die nicht vertragen, daß zu laut über sie gesprochen wird, und niemand weiß auch zu Beginn einer Untersuchung, wohin er durch den Zwang der Tatsachen geführt wird. So will ich Ihnen nichts weiter von Vermutungen, sondern lieber zu späterer Zeit von geschehener Arbeit berichten.

S. 66) Bedenken geäußert und durch den Nachweis einer spezifischen Wirkung des Ultraviolett wird sie nun unzweideutig widerlegt.

[14]) Zu der gleichen Auffassung kam *Knoll* bei Schmetterlingen auf anderem Wege (1922, S. 290 bis 293).

Neuere Literatur.

Armbruster, L., Über das Farbensehen bei Wespen. Naturwissensch. Wochenschrift, N. F., Bd. *21*, **1922**, S. 419—422.

Becher, S., Neue Versuche zum Problem des Licht- und Farbensehens der Daphnien. Verhandl. Deutsch. Zool. Ges. **1921**, S. 60—67.

Brecher, L., Die Farbanpassung der Schmetterlingspuppen durch das Raupenauge. Verhandl. Zool.-bot. Ges. Wien Bd. *72*, **1922**, S. 35—40.

Erhard, H., Beiträge zur Kenntnis des Lichtsinnes der Daphnien. Biol. Centralbl. Bd. *33*, **1913**, S. 494 bis 496. — Zur Kenntnis des Lichtsinnes einiger niederer Krebse. Zool. Jahrb., Abt. f. allg. Zool. u. Phys. Bd. *39*, **1921**, S. 65—82.

Ewald, W. F., Ist die Lehre vom tierischen Phototropismus wiederlegt? Arch. f. Entwicklungsmech. Bd. *37*, **1913**, S. 581—598. — Versuche zur Analyse der Licht- und Farbenreaktionen eines Wirbellosen (Daphnia pulex). Zeitschr. f. Sinnesphysiol. Bd. *48*, **1914**, S. 285—324.

Freytag, G., Lichtsinnuntersuchungen bei Tieren I, Fische. Phoxinus laevis (Ellritze, Pfrille). Arch. f. vergl. Ophthalm. Bd. *4*, **1914** (a), S. 68—82. — Dasselbe II, Insekten. Tenebrio molitor (Mehlkäfer). Arch. f. vergl. Ophthalm. Bd. *4*, **1914** (b), S. 151 bis 161.

v. Frisch, K., Über farbige Anpassung bei Fischen. Zool. Jahrb., Abt. f. allg. Zool. u. Phys., Bd. *32*, **1912** (a), S. 171—230. — Sind die Fische farbenblind? Ebenda Bd. *33*, **1912** (b), S. 107—126. — Weitere Untersuchungen über den Farbensinn der Fische. Ebenda Bd. *34*, **1913**, S. 43—68. — Demonstration von Versuchen zum Nachweis des Farbensinnes bei angeblich total farbenblinden Tieren. Verhandl. Deutsch. Zool. Ges. **1914** (a), S. 50—58. — Der Farbensinn und Formensinn der Biene. Zool. Jahrb., Abt. f. allg. Zool. u. Phys., Bd. *35*, **1914** (b), S. 1—188 (auch als Buch, G. Fischer,

Jena 1914). — Zur Streitfrage nach dem Farbensinn der Bienen. Biol. Centralbl. Bd. *39*, **1919**, S. 122—139. — Methoden sinnesphysiologischer und psychologischer Untersuchungen an Bienen, in *Abderhaldens* Handbuch der biol. Arbeitsmethoden, **1922**.

v. Frisch und *Kupelwieser*, Über den Einfluß der Lichtfarbe auf die phototaktischen Reaktionen niederer Krebse. Biol. Centralbl. Bd. *33*, **1913**, S. 547—552.

Haempel und *Kolmer*, Ein Beitrag zur Helligkeits- und Farbenanpassung bei Fischen. Biol. Centralbl. Bd. *34*, **1914**, S. 450—458.

Hahn, E., Über den Farbensinn der Tagvögel und die Zapfenölkugeln. Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. *116*, **1916**, S. 1—42.

Hamilton, W. F., A direct method of testing color vision in lower animals. Proc. nat. acad. Sc. U. S. A. Bd. *8*, **1922**, S. 350—353.

Hecht, S., The relation between the wave length of light and its effect on the photosensory process. Journ. of General Physiol. Bd. *3*, **1921**, S. 375—390.

Hörning, H., Optische Versuche an Vögeln und Schildkröten über die Bedeutung der roten Ölkugeln im Auge. Pflügers Arch. ges. Phys. Bd. *178*, **1920**, S. 91—123.

van Herwerden, M. A., Über die Perzeptionsfähigkeit des Daphnienauges für ultraviolette Strahlen. Biol. Centralbl. Bd. *34*, **1914**, S. 213—216.

v. Heß, C., Untersuchungen über den Lichtsinn bei Fischen. Arch. f. Augenheilk. Bd. *64*, **1909**, Ergänzungsheft. — Untersuchungen über den Lichtsinn bei Reptilien und Amphibien. Pflügers Arch. ges. Phys. Bd. *132*, **1910**, S. 255—295. — Experimentelle Untersuchungen zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes. Ebenda Bd. *142*, **1911**, S. 405 bis 446. — Untersuchungen zur Frage nach dem Vorkommen von Farbensinn bei Fischen. Zool. Jahrb., Abt. f. allg. Zool. u. Phys. Bd. *31*, **1912**, S. 629—646. — Gesichtssinn. Wintersteins Handbuch d. vergl. Physiol. Bd. *4*, Jena **1913** (a), S. 555 bis 839. — Neue Untersuchungen zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes. Zool. Jahrb., Abt. f. allg. Zool. u. Phys., Bd. *33*, **1913** (b), S 387 bis 440. — Experimentelle Untersuchungen über den angeblichen Farbensinn der Bienen. Ebenda Bd. *34*, **1913** (c), S. 81—106. — Neue Untersuchungen über die Sehqualitäten der Bienen. Die Naturwissensch. **1914** (a), Heft 34/35. — Eine neue Methode zur Untersuchung des Lichtsinnes bei Krebsen. Arch. f. vergl. Ophthalm. Bd. *4*, **1914** (b), S. 52—67. — Untersuchungen zur Physiologie des Gesichtssinnes der Fische. Zeitschr. f. Biologie Bd. *63*, **1914** (c), S. 245—274. — Untersuchungen über den Lichtsinn mariner Würmer und Krebse. Pflügers Arch. ges. Phys. Bd. *155*, **1914** (d), S. 421 bis 435. — Untersuchungen über den Lichtsinn bei Echinodermen. Ebenda Bd. *160*, **1914** (e), S. 1—26. — Messende Untersuchungen zur vergleichenden Physiologie des Pupillenspieles. Arch. f. Ophthalm. Bd. *90*, **1915**, S. 382—393. — Messende Untersuchung des Lichtsinnes der Biene. Pflügers Arch. ges. Phys. Bd. *163*, **1916**, S. 289—320. — Der Farbensinn der Vögel und die Lehre von den Schmuckfarben. Ebenda Bd. *166*, **1917**, S. 381—426. — Beiträge zur Frage nach einem Farbensinn bei Bienen. Ebenda Bd. *170*, **1918**, S. 337—366. — Über Gesichtsfeld, Silberglanz und Sehqualitäten der Fische und über die Lichtverteilung im Wasser. Zeitschr. f. Biologie Bd. *70*, **1919** (a), S. 9—40. — Der Lichtsinn der Krebse. Pflügers Arch. ges. Phys. Bd. *174*, **1919** (b), S. 245—281. — Über Lichtreaktionen bei Raupen und die Lehre von den tierischen Tropismen. Ebenda, Bd. *177*, **1919** (c), S. 57—109. — Beiträge zur Kenntnis des Lichtsinnes bei Wirbellosen. Ebenda Bd. *183*, **1920** (a), S. 146—167. — Die Bedeutung des Ultraviolett für die Lichtreaktionen bei Gliederfüßern. Ebenda Bd. *185*, *1920* (b), S. 281—310. — Neues zur Frage nach einem Farbensinn bei Bienen. Die Naturwissenschaften, **1920** (c), S. 927—929. — Methoden zur Untersuchung des Licht- und Farbensinnes sowie des Pupillenspieles, in Abderhaldens Handb. d. biol. Arbeitsmethoden, **1921**. — Farbenlehre, in Asher u. Spiro, Ergebn. d. Physiol. Bd. *20*, **1922**, S. 1—107.

Honigmann, H., Methoden zur Erforschung von Licht- und Farbensinn der Tiere. Jahresber. d. Schles. Gesellsch. f. vaterl. Cultur **1916**. — Untersuchungen über Lichtempfindlichkeit und Adaptierung des Vogelauges. Pflügers Arch. ges. Phys. Bd. *189*, **1921**, S. 1—72.

Knoll, F., Gibt es eine Farbendressur der Insekten? Die Naturwissenschaften **1919**, S. 425—430. — Insekten und Blumen, experimentelle Arbeiten zur Vertiefung unserer Kenntnisse über die Wechselbeziehungen zwischen Pflanzen und Tieren, Heft 1: I. Zeitgemäße Ziele und Methoden für das Studium der ökologischen Wechselbeziehungen. II. Bombylius fuliginosus und die Farbe der Blumen. Abhandl. d. zool.-botan. Gesellsch. in Wien, Bd. *12*, Wien **1921**. — Dasselbe, Heft 2: III. Lichtsinn und Blumenbesuch des Falters von Macroglossum stellatarum. Ebenda, Wien **1922**.

Koehler, O., Diskussionsbemerkung zu Bechers Versuchen über Licht- und Farbensehen der Daphnien, Verhandl. deutsch. zool. Gesellsch. **1921**, S. 64, 65.

Kühn, A., Nachweis des simultanen Farbenkontrastes bei Insekten. Die Naturwissenschaften **1921**, S. 575—576.

Kühn und *Pohl*, Dressurfähigkeit der Bienen auf Spektrallinien. Die Naturwissenschaften **1921**, S. 738 bis 740.

Loeb and *Wasteneys*, The relative efficiency of various parts of the spectrum for the heliotropic reactions of animals and plants, 2. Comm., Journ. exp. Zool. Bd. *20*, **1916**, S. 217—236.

Mast, S. O., Changes in shade, color and pattern in fishes and their bearing on certain problems of behavior and adaptation, Proceed. Nat. Acad. Sc. Bd. *1*, **1915**, S. 214—219. — Changes in shade, color and pattern in fishes, and their bearing on the problems of adaptation and behavior, with especial reference to the flounders Paralichthys and Ancylopsetta. Bull. of the Bureau of fisheries Bd. *34*, Doc. Nr. 821, Washington **1916**, S. 177—238.

Peters, E., Vergleichende Untersuchungen über den Lichtsinn einheimischer Cladocerenarten. Sitzungsber. u. Abhandl. d. naturf. Gesellsch. zu Rostock Bd. 7, **1921**, S. 227—229.

Reeves, C. D., Discrimination of light of different wavelenghts by fish. Behavior Monographs. Bd. *4*, Nr. 3, **1919**, S. 1—106.

Schmitt-Auracher, A., Totale Farbenblindheit bei einem Insekt, Die Umschau Jg. 25, **1921**, S. 490—493.

Schnurmann, F., Untersuchungen an Elritzen über Farbenwechsel und Lichtsinn der Fische. Zeitschr. f. Biologie Bd. *71*, **1920**, S. 69—98.

Watson, J. B., Studies on the spectral sensitivity of birds. Papers from Dep. Marine Biol. Carnegie Instit. Washington Bd. 7, **1915**, S. 85—104.

White, G. M., Association and color discrimination in mudminnows and sticklebacks. Journ. exper. Zool. Bd. 27, **1919**, S. 443—498.

Yerkes, R. M., Preliminaries to a study of color vision in the Ring-Dove Turtur risorius. Journ. of animal behavior Bd. *5*, **1915**, S 25—43.

Besprechungen.

Rinne, F., Kristallographische Formenlehre und Anleitung zu kristallographisch-optischen sowie röntgenographischen Untersuchungen. 4. u. 5. Aufl. 3 Teile. Leipzig, Dr. M. Jänecke, 1922. XII, 254 S., 585 Abb. und 1 Tafel. 16 × 24 cm. Preis Teil 1. Gz. 2,50; Teil 2. Gz. 3,50; Teil 3. Gz. 2,—.

Das Rinnesche Buch hält nach Anlage und Ausführung die Mitte zwischen einem Lehrbuch und einem Repetitorium. Es soll, dem Vorwort gemäß, Studierende der Naturwissenschaften, insbesondere der Chemie und Mineralogie, in die kristallographische Formenlehre, die kristallographisch-optischen und die röntgenographischen Untersuchungsmethoden einführen und als ratgebendes Buch die Teilnahme am einschlägigen Praktikum erleichtern. Es ist also aus den Bedürfnissen des Hochschulunterrichtes heraus entstanden, und, wie man an vielen Stellen durchfühlt, von der langen Praxis eines begeisterten und begeisternden Hochschullehrers getragen.

In allen Teilen geht das Buch darauf aus, nicht abstrakte Wissenschaft vorzutragen, sondern zu eigner Tätigkeit anzuregen und darauf vorzubereiten.

Diesem Streben kommt auch die Kürze entgegen, die den Leser zu intensivem Mitarbeiten zwingt, wenn anders er sich nach den oft knappen Angaben des Verfassers volle Rechenschaft über den Inhalt geben will. Großer Wert ist auf die Sprache der zahlreichen Figuren gelegt, die häufig eine ausführlichere Beschreibung in Worten unnötig machen. Manchmal ist ihre Erläuterung im Text aber wohl doch zu knapp gehalten und es wird der mündlichen Ergänzungen im Praktikum bedürfen, damit der Studierende Nutzen daraus gewinnen kann. Für denjenigen, der den Gegenstand aus breiteren Darstellungen kennt, werden diese Abbildungen — mir fallen als Beispiele die Abb. 322/323 zur Theorie des Mikroskopes, sowie 562 „Indicesfeld" ein — nützliche Erinnerungsbilder erwecken, die ihn zum Nachdenken anregen können. Aber es liegt entschieden ein gewisses Unbehagen darin, daß der Leser gezwungen ist, beim Lesen Vorsicht walten zu lassen, weil er sich nicht an allen Stellen darauf verlassen kann, daß ihm die Grundlagen zum eigentlichen Verständnis der durch die Figuren erläuterten knappen Textstellen in den Worten des Textes voll geboten werden. Dies ist der Grund, welhalb ich das Buch oben mit einem Repetitorium verglichen habe. Im übrigen muß anerkannt werden, daß im allgemeinen der Verfasser ein großes Geschick bekundet, in Kürze das Wichtige zu sagen und daß wohl kein anderes Buch auf so beschränktem Raum soviel positive theoretische und praktische Anleitung für kristallographisches Arbeiten bietet.

Einer besonderen Besprechung bedarf der dritte Teil des Buches, die Darlegung der Röntgenmethoden zur Kristalluntersuchung oder, wie der Verfasser sagt: der Kristall-Röntgenogrammetrie. Während es nämlich über die Gegenstände der beiden ersten Teile auch andere und zwar lehrbuchmäßiger ausgearbeitete Darstellungen gibt, ist die Zusammenfassung der Röntgenmethoden bisher einzig in ihrer Art. In diesem Teile bedauert man mehr als in den anderen, daß die Darstellung nicht etwas breiter ist. Das Buch ist auch hier eigentlich der Ratgeber neben dem Praktikum, das den Studierenden in Leipzig im Rinneschen Institut erfreulicherweise geboten werden kann. Da dies in Deutschland aber noch zu den Seltenheiten gehört, würde man gerade auf diesem Gebiet gern eine größere Ausführlichkeit hinnehmen. Z. B. glaube ich nicht, daß viele Studierende der Kristallographie oder Chemie sich nach dem Text und den Abbildungen eine Vorstellung von dem Arbeiten der Siegbahn- oder gar Lilienfeldröhre machen können oder daß sie in den Sinn des Verfahrens mit dem Indicesfeld eindringen werden. Für den Kenner der Grundlagen ist die knappe Übersicht über die geometrische Verwertung der Interferenzerscheinungen bei den verschiedenen Verfahren (*Laue, Bragg, Debye-Scherrer, Schiebold*) unter Berücksichtigung der graphischen Hilfsmittel besonders erfreulich. Über die Verwertung des letztgenannten — aus dem Institut des Verfassers stammenden — Verfahrens gibt ein Beitrag *Schiebolds* zum ersten Male Einzelheiten. In dem ganzen Abschnitt über das Röntgenverfahren habe ich aber den prinzipiell wesentlichen Hinweis vermißt, daß nur durch die Diskussion der Intensitäten eine Struktur endgültig bestimmt werden kann und daß die Benutzung des geometrischen Tatsachenmaterials der Interferenzbilder hierzu nicht ausreicht (Strukturfaktor!). Einige Beispiele von Kristallstrukturen beschließen diesen Abschnitt, der den *Methoden* der Röntgenuntersuchung gewidmet ist, während für die Diskussion ihrer Ergebnisse auf *F. Rinne*, „Das feinbauliche Wesen der Materie nach dem Vorbilde der Kristalle" verwiesen wird. *P. P. Ewald, Stuttgart.*

Kohlrausch, Friedrich, Lehrbuch der praktischen Physik. 14. stark vermehrte Auflage. Leipzig und Berlin, B. G. Teubner, 1923. XXVIII, 802 S. und 395 Abb. 14 × 22 cm. Preis Gz. geh. 12; geb. 14.

Das Lehrbuch hat in der vorliegenden Ausgabe — der dritten, die nach dem Tode des Verfassers von Angehörigen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt bearbeitet worden ist — wiederum eine große Reihe von Zusätzen und Ergänzungen erfahren. Sie betreffen alle Teile des Buches, so daß im folgenden nur die hauptsächlichen erwähnt werden können. So wurden die technischen Anweisungen auf die Behandlung hoher Drucke ausgedehnt und der Wägung und der Bestimmung von Gas- und Dampfdichten neue Beispiele und Verfahren angefügt. Eine Erweiterung erfuhr das Kapitel über die Längenmessung, ferner die Thermometrie in bezug auf das Gas- und Dampfdruckthermometer sowie auf die Pyrometer, welchen die Messung der Gesamtstrahlung zugrunde liegt. Die Darstellung über die Messung der Gefrier- und Siedepunktsänderung von Lösungen wurde umgearbeitet, die $p\,v$-Messungen der Gase sowie der Joule-Thomson-Effekt kurz behandelt. Die Messung der Schallgeschwindigkeit fand eine eingehendere Beschreibung.

Von den optischen Kapiteln blieben im wesentlichen nur die Messungen der Kristalle und des natürlichen Drehvermögens ungeändert; alle anderen sind einer durchgreifenden Umarbeitung unterzogen. Obwohl sich dabei durch eine straffere Anordnung des Stoffes, bei der Zusammengehöriges mehr als bisher vereinigt wurde, Kürzungen im einzelnen erreichen ließen, mußte doch im ganzen der alte Umfang der Optik vergrößert werden, damit alle wichtigeren Beobachtungsverfahren berücksichtigt werden konnten. Die Verteilung des Stoffes auf die einzelnen Kapitel ist im wesentlichen beibehalten, nur kam ein neues über magnetooptische Untersuchungen hinzu, das außer von der elektromagnetischen Drehung der Polarisationsebene von dem Zeeman- und dem Starkeffekt handelt. Besonders wurden die Kapitel über das Spektrometer und über die Verfahren zur Bestimmung der Wellenlänge wesent-

lich erweitert. Bei der Behandlung der Linsen fanden die Methoden zur Untersuchung des Korrektionszustandes, bei der Photometrie die Messung verschiedenfarbiger Lichtquellen sowie die objektive Bestimmung der Lichtquellen Berücksichtigung.

Die Darstellung der elektrischen und magnetischen Messungen konnte an manchen Stellen gekürzt und zusammengezogen werden, wobei man durch einige Umstellungen und eine Unterteilung in kleinere Abschnitte eine bessere Übersicht zu erreichen suchte. Die Kapitel über Elektrometrie, magnetische Induktion, Wechselströme, elektrische Schwingungen, ionisierte Gase, Kathoden- und Kanalstrahlen wurden teilweise umgearbeitet und erweitert, sowie ein neuer Abschnitt über Dielektrika eingefügt, der außer dem früheren Kapitel über die Dielektrizitätskonstante die Bestimmungen der Leitfähigkeit und der Durchschlagsfestigkeit enthält.

Die kurzen Kapitel über elektrische Maschinen und Transformatoren sind weggeblieben. Da in dieser Hinsicht wohl schon vielfach ausführlichere Darstellungen zu Hilfe genommen worden sind, wird die Lücke nicht sehr empfunden werden. Die Messung der elektrischen Lampen ließ sich mit der Photometrie der übrigen Lichtquellen vereinigen.

In die 10. Tabelle über feste Körper wurden die Werte der Suszeptibilität mitaufgenommen, ebenso in die 11. über Flüssigkeiten dieselbe Größe, ferner die Kapillarkonstante, die Zähigkeit und die Dielektrizitätskonstante. Wesentlich vergrößert wurden die Tabelle 12 über Gas und die Tabellen 22 und 33 über Wellenlängen; neu hinzugekommen ist Tabelle 28 über die Empfindlichkeit des Auges.

In dem Zeitraum von über fünfzig Jahren, seitdem die erste Auflage erschienen ist, hat sich nicht allein der Umfang des Buches entsprechend der Entwicklung der Physik vermehrt, sondern auch sein Zweck erweitert. Denn der Stoff, der anfangs nur für den Unterricht im physikalischen Anfängerpraktikum ausgewählt worden war, wurde immer mehr nach der wissenschaftlichen Seite vervollständigt, so daß daraus auch der Vorgeschrittene Nutzen ziehen konnte. Dieser doppelten Bestimmung des Buches, den Physiker in die praktische Arbeit einzuführen und ihn später bei der Lösung wissenschaftlicher Aufgaben zu beraten, wird hoffentlich auch die neue Auflage gerecht werden. *Vorwort.*

Goetz, A., Physik und Technik des Hochvakuums. Tagesfragen aus den Gebieten der Naturwissenschaften und der Technik, Heft 64. Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn, 1922. VIII, 144 S. Preis Gz. 5.

Das Buch ist in erster Linie für junge Physiker bestimmt, die sich mit den Arbeitsmethoden zur Erzielung eines guten Vakuums vertraut machen wollen. Bisher war der angehende Physiker gezwungen, sich die für die Vakuumarbeiten erforderlichen Kenntnisse durch ein mühsames Studium zahlreicher in den Zeitschriften verstreuter Einzelarbeiten anzueignen. Das vorliegende Bändchen erleichtert in erfreulicher Weise dieses Einarbeiten, indem es einen geschlossenen Überblick über die Arbeitsmethoden und Apparaturen des Vakuumphysikers gibt — wenigstens so weit diese in den Physikalischen Instituten der Hochschulen zur Anwendung gelangen. Der Vakuumtechniker vermißt allerdings manches; so findet man z. B. nichts über die im Vordergrunde des Interesses stehenden „Getter".

Eingehend beschrieben sind die gebräuchlichen Vorvakuumpumpen, die Konstruktionen von *Gaede* und *Pfeiffer-Wetzlar*, weiter die rotierende *Gaede*-Quecksilberpumpe, die Molekularluftpumpe und die Quecksilberdampfstrahlpumpen. Anschließend werden die Manometer besprochen (Kompressionsmanometer, Manometer nach *Langmuir* und *Knudsen*), sowie das auf der Wärmeleitung beruhende Druckmeßverfahren von *Pirani* und *Hale*. Bei der dann folgenden Aufzählung der Druckmeßverfahren, die auf den Änderungen der Entladungserscheinungen mit dem Druck (Raumladung, Ionisation) beruhen, vermißt der Referent gerade das gebräuchlichste Verfahren bei Eingitterröhren (Gitter geringes negatives Potential, Anode hohes positives Potential gegenüber der Kathode), das unter anderen von *Kaufmann* und *Scrowcy* rechnerisch ausgewertet ist. Auch ist es wohl etwas kühn, von der Messung von Drucken wie 10^{-15} mm oder gar 10^{-27} mm Hg zu sprechen; Drucke unter 10^{-9} bis 10^{-11} mm Hg dürften nur sehr schwer in Glasapparaturen herzustellen sein. Die dann folgenden Abschnitte über die Reinigung des Quecksilbers, Behandlung von Schliffen, Hähnen, Anwendung von Trockenmitteln bringt eine Summe von praktischen Erfahrungen, die dem Physiker das Arbeiten mit hochevakuierten Entladungsröhren erleichtern und deren Zusammenstellung sehr erwünscht ist. Der Schluß des Werkes befaßt sich mit der Gasabgabe von Metallen, der Okklusion und Adsorption von Gasen und verwandten Erscheinungen.

Bedauerlicherweise erschweren eine Anzahl Unklarheiten die Lektüre des Buches. So pflegt man z. B. in dem Richardsonschen Gesetz die Gaskonstante mit k (Boltzmannsche Konstante) und nicht mit R, wie es in dem Buch geschehen, zu bezeichnen. Der Buchstabe R ($R = 83{,}13 \cdot 10^6$ erg/grad) ist für die Gaskonstante bezogen auf das Mol, der Buchstabe k ($k = 1{,}3719 \cdot 10^{-16}$ erg/grad) für die Gaskonstante bezogen auf ein Molekül (Elektron) gebräuchlich. — Alles in allem genommen, ist jedoch das Buch eine erfreuliche Bereicherung unserer Vakuumliteratur. *A. Gehrts, Berlin.*

Waßmuth, A., Grundlagen und Anwendungen der statistischen Mechanik. Tagesfragen aus den Gebieten der Naturwissenschaften und der Technik, Heft 25. Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn, 1922. VI, 116 S.

Das kleine Werk enthält eine sehr gute und vollständige Darstellung der Hauptlehren der statistischen Mechanik. Besonderes Gewicht hat der Verfasser auf Anschaulichkeit gelegt; daher werden auch die Sätze der statistischen Mechanik nicht nur allgemein entwickelt, sondern durch Anwendungen auf spezielle Fälle erläutert. Es werden so die Hauptergebnisse der kinetischen Gastheorie deduktiv aus den Sätzen der statistischen Mechanik gewonnen. Besonderes Interesse wird in dieser Hinsicht die elegante vom Verfasser herrührende Ableitung des Boltzmann-Maxwellschen Verteilungsgesetzes finden.

Auch die allgemeine Theorie der statistischen Mechanik ist vollständig behandelt sowie die Ableitung der Sätze der Thermodynamik aus ihr. So finden wir denn auch die wesentlichsten Untersuchungen von *Gibbs* in dem Buche wiedergegeben.

Das Werk ist also geeignet, dem Leser einen vollständigen Überblick über den heutigen Stand der statistischen Mechanik zu geben. *P. Hertz, Göttingen.*

Tropfke, J., Geschichte der Elementarmathematik in systematischer Darstellung mit besonderer Berücksichtigung der Fachwörter. Vierter Band: Ebene Geometrie. Zweite, verbesserte und sehr vermehrte Auflage. Berlin und Leipzig, Vereinigung wissenschaftlicher Verleger W. de Gruyter & Co., 1923. III, 238 S. und 25 Abbild. 16 × 24 cm. Preis Gz. geh. 7.50; geb. 9.10.

In dieser Zeitschrift (*10*, 45, 1922) hat Ref. sich ausführlich über die Anlage der Tropfkeschen Geschichte der Elementarmathematik ausgesprochen. — Der vierte Band enthält die „Ebene Geometrie". Der erste Abschnitt, allgemeiner Teil genannt, gibt im ersten Kapitel einen Überblick über die geschichtliche Entwicklung der Elementargeometrie, woran sich ein Kapitel über die Sprache der Geometrie, Figuren und ein weiteres über Definitionen, Axiome, Postulate und allgemeine Fachausdrücke anschließen. Der zweite Abschnitt, besonderer Teil überschrieben, behandelt in neun Kapiteln die ebene Geometrie von der geraden Linie bis zur Kreisberechnung. — Wer sich über die Geschichte der Theorie der Parallellinien, der Konstruktionen mit Zirkel und Lineal, des Problems der Quadratur des Kreises, um nur einige Fragestellungen der ebenen Geometrie hervorzuheben, möglichst *mühelos* und doch hinreichend *ausführlich* orientieren will, wird zu diesem Bande greifen müssen. Die geschichtlichen Betrachtungen zur Kreisberechnung (S. 195—238) beginnen beispielsweise mit dem Wert von π in dem unter dem Namen „Rechenbuch des Ahmes" bekannt gewordenen Papyrus Rhind (2000 bis 1700 v. Chr.) und führen durch die Jahrhunderte hindurch bis zu den Arbeiten von *F. Lindemann, K. Weierstraß, D. Hilbert, A. Hurwitz, P. Gordan.*

Die Darstellung ist wie in den vorhergehenden Bänden mustergültig. *Friedrich Drenckhahn, Rostock.*

Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

In der Fachsitzung am 7. Mai sprach Professor *Graf von Teleki* (Budapest) über **die ethnographischen und wirtschaftlichen Verhältnisse Ungarns** auf Grund von Karten der ungarischen Friedensdelegation. In den Friedensverhandlungen, die den Weltkrieg zum Abschluß bringen sollten, spielte die geographische Verteilung der Nationalitäten sowie die wirtschaftliche Zusammengehörigkeit bestimmter Volksgruppen aus dem Grunde eine besonders wichtige Rolle, weil diesen beiden Gesichtspunkten für die Festsetzung der neuen Grenzen eine ausschlaggebende Bedeutung beigemessen wurde. Von feindlicher Seite wurden daher alle Hebel in Bewegung gesetzt, um durch falsche Darstellung ethnographischer Tatsachen und Verschweigen wirtschaftsgeographischer Wahrheiten ihrer Ansicht zum Siege zu verhelfen. So wurden z. B. relative Majoritäten als absolute, gemischtsprachliche Gebiete als reinsprachliche dargestellt, und auf Grund solchen einseitig beeinflußten Materials am grünen Tisch die neuen Grenzen in die Karten eingezeichnet.

Es ist klar, daß man bei der kartographischen Darstellung statistischen Materials sehr verschiedene Wege einschlagen kann. Bezeichnet man z. B. durch rote Farbe die einheimische Bevölkerung, durch blaue die fremdstämmige und koloriert die einzelnen politischen Bezirke je nach der Mehrheit, so wird ein kleiner Bezirk, in dem 95 000 Einheimische und 5000 Fremde wohnen, rot, ein benachbarter größerer, aber dünn besiedelter, der 10 000 Einheimische und 11 000 Fremde enthält, blau bezeichnet. Beim Betrachten der Karte erhält man also den Eindruck, als ob die im ganzen nur 16 000 Köpfe starke fremde Bevölkerung die in Wirklichkeit 105 000 zählende einheimische Bevölkerung überwiegt. Dabei kann man nicht einmal den Vorwurf erheben, daß die Darstellung fehlerhaft sei. Sie ist objektiv richtig, führt aber zu falschen Vorstellungen. Da nun die maßgebenden Persönlichkeiten auf der Friedenskonferenz keine Fachleute waren, auch wenig Lust und Zeit hatten, sich in die Methoden kartographischer Darstellung statistischen Materials zu vertiefen, so galt es, neue Methoden zu ersinnen, die wissenschaftliche Genauigkeit mit klarer übersichtlicher Darstellung vereinigten, und welche zugleich den wirtschaftlichen Beziehungen Rechnung trugen. Bekanntlich waren alle diese Bemühungen vergeblich, denn die neuen Grenzen ignorieren die wirtschaftliche Einheit des ungarischen Beckens, nehmen keine Rücksicht auf die komplizierten wirtschaftlichen Zusammenhänge, durch welche die einzelnen Landschaften aufeinander angewiesen sind, und verlaufen meist willkürlich durch jene Zone größter Volksdichte, die das Übergangsgebiet zwischen den Wirtschaftsformen der Tieflandsbecken zu jenen der Berglandschaften bildet, so daß natürliche Zusammenhänge gewaltsam zerrissen werden.

Um die geleistete Riesenarbeit aber wenigstens der Wissenschaft zugänglich zu machen, hatte der Vortragende Dutzende von gedruckten vielfarbigen Karten und Kartogrammen, sowie unveröffentlichte handschriftliche Karten ausgehängt und aufgelegt, die er zur Erläuterung seiner ungemein anregenden und höchst beachtenswerten Ausführungen heranzog. Eine ethnographische Karte von Ungarn wurde in dem großen Maßstabe von 1 : 200 000 angefertigt, um eine bis ins kleinste gehende Genauigkeit erzielen zu können, jede Generalisierung überflüssig zu machen und alle subjektive Auffassung des Kartographen auszuschalten. Sie ist dann, nach Reduktion auf den Maßstab 1 : 300 000, vervielfältigt worden und stellt ein Quellenwerk ersten Ranges dar, das eine Fülle der wichtigsten Einzelheiten, namentlich siedlungskundlicher Art, in übersichtlicher Form darbietet. So tritt z. B. die Verschiedenheit der Siedelungen in den zur Türkenzeit verwüsteten und den von ihnen verschont gebliebenen Bezirken deutlich hervor. Die Einwohner fanden damals ihre Zuflucht auf den Gütern, die dem Sultan gehörten. Sie schufen sich in der Umgebung dieser Orte, die allmählich zu stattlichen Bauernstädten bis zu mehr als 100 000 Einwohnern anwuchsen, Sommersitze, kleine Weiler oder Meierhöfe, kehrten aber im Winter in die Stadt zurück. Erst nach und nach, mit dem Aufhören der Unsicherheit durch Räuberbanden, wurden diese Sommersitze zu ständigen Wohnplätzen. Obgleich die Bauernstädte das Aussehen von großen Dörfern haben, macht sich doch neuerdings eine Citybildung bemerkbar. Eine andere Art der Siedlung findet sich im Banat, der südöstlichsten Landschaft des eigentlichen Ungarn (südwestlich von Siebenbürgen), das erst im 18. Jahrhundert von den Türken geräumt und mit allen möglichen Nationen besiedelt wurde, so daß wir hier die bunteste Völkermischung in Europa, vielleicht auf der ganzen Erde vorfinden. Jedes Dorf aber wurde von dem Gutsbesitzer einheitlich mit denselben Volksgenossen besiedelt. In einem bestimmten Teile des Banats weisen von 432 Orten heute noch nicht weniger als 303 eine Bevölkerung von einheitlicher Nationalität (d. h. mit einer fremden Minderheit unter 20 %) auf. Interessant ist auch der Unterschied zwischen den zerstreuten Wohnplätzen der Rumänen und den großen, in der Mitte einer Beckenlandschaft liegenden Siedlungen der Szekler in Siebenbürgen. Die Ortschaft ist von Ackerland umgeben, dem sich in weiterem Umkreise konzentrisch eine Waldzone anschließt. Im Sachsenlande Siebenbürgens dagegen haben sich an einer Seite der sächsischen Dörfer rumänische An-

bauten entwickelt. Aus der Bauart der Häuser läßt sich ohne weiteres ersehen, ob das Haus einem Rumänen oder einem Sachsen gehört; sogar die Erwerbung eines sächsischen Hauses durch einen Rumänen wird durch Auskratzen des zwischen den beiden oberen Fenstern angemalten Weinstockes erkennbar. In der Tatra sind die oberen, dünn bevölkerten Teile der Täler von Slowaken, die unteren dagegen dicht von Ungarn bewohnt. Um den ersteren einen Zusammenhang mit ihren Volksgenossen in den Nachbartälern zu sichern, hat die neue Grenze die viel zahlreichere ungarische Bevölkerung in den unteren Talgebieten von Ungarn losgerissen.

Ein neues, von dem Vortragenden ersonnenes, aber nur für einheitliche Siedlungsgebiete geeignetes System für bevölkerungsstatistische Karten verdient besondere Erwähnung. Als Grundeinheiten dienen die Kreise. Jedes Quadratmillimeter, das mit Farbe angelegt und vom Mittelpunkt der Siedlungsdichte aus aufgetragen wird, bedeutet 100 Einwohner. Die einer solchen Darstellungsweise anhaftenden Nachteile werden durch den Vorteil der ziffernmäßigen Genauigkeit überwogen.

Als ein abschreckendes Beispiel zeigte der Vortragende zum Schluß ein bevölkerungsstatistische Karte des Staates Wisconsin der nordamerikanischen Union, die nach den von der Friedenskonferenz aufgestellten Grundsätzen entworfen ist und infolgedessen zu ganz falschen Vorstellungen führt. Aus der Versammlung wurde der Wunsch nach Veröffentlichung dieser Karte laut, weil nichts besser geeignet sei, die Absurdität des Nationalitätenprinzips gerade den Amerikanern deutlich vor Augen zu führen. *O. B.*

Deutsche Meteorologische Gesellschaft.

(Berliner Zweigverein.)

In der Sitzung am 10. April behandelte Herr Dr. *Kölzer* den **Einfluß von Temperatur und Wind auf die Schallausbreitung.**

Eingehend wurden die Ergebnisse von *R. Emden* besprochen, der nach Schaffung des Begriffes der „polytropen" Atmosphäre die theoretischen Grundlagen der Schallausbreitung dargestellt und die große Bedeutung der Temperatur- und Windgradienten gezeigt hat. Anschließend wurden nach den Untersuchungen von *H. Morf* und *Kammüller* an der Hand von Konstruktionen der einzelnen Schallbahnen die Wirkung wechselnder Schichtung der Atmosphäre erörtert. Die Annahme, daß der Schall an der Wasserstoffsphäre reflektiert wird, ist nach *W. Schmidt* nicht haltbar. Zum Schluß stellte der Vortragende den Ergebnissen der theoretischen Überlegungen die in der Natur gelegentlich einiger Explosionen gemachten Beobachtungen gegenüber. Besonders wurde hingewiesen auf die Bearbeitung der Explosion von Rothenstein bei Königsberg i. Pr. am 29. 4. 20 und der Hörbarkeit des Geschützdonners am 10. 2. 1918 an der Westfront.

In der Sitzung vom 1. Mai sprach Herr Dr. *Koppe* über **Seespiegelschwankungen des Toten Meeres und das Klima Palästinas.**

Die kurzperiodischen Seespiegelschwankungen wurden frühzeitig z. B. an den Marken, die das am Ufer abgelagerte Treibholz bildete, erkannt. Aus den jährlichen Schwankungen ziehen die Eingeborenen auch gewissen Nutzen, indem sie im Frühjahr beim Hochstand des Seespiegels das Wasser in flachen Becken in der Nähe des Ufers auffangen und auf diese Weise bei der starken Verdunstung und einem Salzgehalt des Wassers von 24 bis 26 % leicht Salz gewinnen. Regelrechte Messungen hat erst der englische Palestine Exploration Fund seit 1900 angestellt, indem er Marken an einem bestimmten Felsblock anbringen ließ. Der stärkste Anstieg im Frühjahr wurde zu 86 cm, der geringste Anstieg zu 21,5 cm bestimmt. Die größte Hebung von einem Jahr zum andern betrug 48,4 cm zwischen 1905 und 1906, der stärkste Fall erreichte 39,5 cm zwischen 1901 und 1902.

Um die Schwankungen vor 1900 zu verfolgen, bediente sich der Vortragende zahlreicher Angaben, die sich über eine am Nordufer des Sees gelegene Insel, genannt *Rujm el Bahr*, in den Reiseberichten vorfanden. Rujm el Bahr ist vielleicht eine alte Hafenanlage aus der Zeit, als das Tote Meer noch befahren wurde. So wissen wir z. B., daß zur Kreuzfahrerzeit dort ein regelmäßiger Schiffsverkehr stattgefunden hat. Diese Insel, die in der Neuzeit seit etwa 20 Jahren überspült ist und im April 1917 durch Auslotungen 3,25 m unter dem Meeresspiegel wiedergefunden wurde, wird von den Reisenden, die von Jerusalem kommend meist an dieser Stelle das Tote Meer zuerst berühren, bald als Insel, bald als Halbinsel beschrieben, woraus sich Rückschlüsse auf die Höhe des Seespiegels ziehen lassen. In gleichem Sinne wurden auch das zeitweilige Erscheinen eines Uferstreifens an dem Ostufer und auch die Angaben über die Tiefenverhältnisse an der schmalsten Stelle des Toten Meeres, da, wo die Halbinsel El-Lisan in den See vorspringt, verwertet. Diese Einschnürung ist zeitweise so seicht gewesen, daß der See durchwatet werden konnte,

Nach Reiseberichten läßt sich aus dem scheinbaren Auftauchen und Verschwinden der Insel feststellen, daß um 1860 ein kurzer, aber sehr deutlicher Anstieg des Wasserspiegels stattfand, dem bald wieder ein Absinken folgte. Der letzte Anstieg erfolgte in den Jahren 1887 bis 1895 und führte zum heutigen Wasserstand. Aus der erwähnten Furt an der südlichen Einschnürung, die seit 1830 nicht mehr benutzt wurde und im Sommer 1916 eine Wassertiefe von mindestens 10 m hatte, wird für die Jahre 1795—1805 ein Absinken des Wasserspiegels angenommen. Von den weiter zurückliegenden Angaben, die naturgemäß immer unsicherer werden, seien die Tiefstände um das Jahr 1725, wo Rujm el Bahr nach den Berichten am Ufer lag, und 1670 erwähnt, wo der südliche Teil des Sees als selbständiger kleiner See abgeschnürt gewesen sein soll. Diesen Tiefständen steht ein besonders hoher Wasserstand im 12. Jahrhundert gegenüber, der sogar den gegenwärtigen übertraf.

Die Wasserstandsschwankungen sind sicher als Folgeerscheinungen von Klimaschwankungen zu erklären. Die Schwankungen im Laufe des Jahres wurden mit den Schwankungen der Niederschläge nach der einzigen längeren Reihe von Jerusalem in Verbindung gebracht. Zu beachten ist dabei die Dreiteilung der Niederschläge in Frühregen, Hauptregen und Spätregen. Die Schwankungen des Seespiegels im Tiberiassee sind stärker als die des Toten Meeres. Die längeren Perioden glaubt der Vortragende mit den Niederschlagsschwankungen in den letzten 65 Jahren in Übereinstimmung zu sehen. Allerdings liegt der Anstieg des Seespiegels nach 1860 in einer niederschlagsarmen Zeit, weshalb er vermutlich nicht durch klimatische Ursachen bedingt ist. Die Vergleiche mit an-

deren Seen, z. B. dem Kaspi- und dem Aralsee, geben für den ersten keine, für den zweiten dagegen bessere Übereinstimmung. Die mehrfach für Palästina angenommene Klimaänderung in dem Sinne der Austrocknung wird abgelehnt; es kann sich nur um Klimaschwankungen handeln. *Kn.*

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

Die Danziger Naturforschende Gesellschaft, eine der ältesten gelehrten Gesellschaften auf dem Gebiete der Naturwissenschaften, feierte kürzlich ihren 180. Geburtstag. Sie eröffnete dabei eine für die Geschichte der Naturwissenschaften sehr interessante Ausstellung in ihrem schönen alten Hause in der Frauengasse. Die Mitglieder der ehrwürdigen Gesellschaft kamen einst einmal in der Woche in einem Privathause zu Vorträgen und Experimenten zusammen, über die ein genaues Protokoll geführt und besondere Abhandlungen verfaßt wurden, und die zumeist die bedeutsamen Entdeckungen des 17. Jahrhunderts (durch *Galilei, Newton, Guericke* usw.) betrafen. Besonders gefördert wurde auch die Astronomie, die in Danzig schon vor der Gründung der Gesellschaft eine eigenartige Pflegestätte gefunden hatte. Der Danziger Bierbrauer und Ratsherr *Johann Hevelius* († 1687), der nicht nur ein bedeutender Astronom war, sondern sich auch alle Hilfsmittel selber schuf, ließ seine mustergültig typographisch ausgestatteten Bücher wie „Machina coelestis" und seine „Selenographia" in eigener Offizin herstellen, ja, er stach die Kupfertafeln mit eigener Hand. Diese sehr seltenen Bücher — der größte Teil der Auflagen wurde durch einen Brand leider vernichtet — sind in der Ausstellung zu finden und außerdem die von *Hevelius* selbst geschliffenen Linsen seines Riesenfernrohrs, das in der Machina coelestis abgebildet ist. Die merkwürdigste unter diesen Linsen, im Durchmesser 216 mm, sieht wie ein flaches Glas von 10 mm Dicke aus, ist aber eine Linse von etwa 32,4 m Brennweite, ein Meisterstück der Glasschleifekunst. Es ist schwer faßbar, wie *Hevelius* in einem Krümmungsradius von 32,4 m so präzise schleifen konnte.

Die Danziger astronomischen Traditionen wurden seit 1776 durch den Arzt *Nathanael von Wolff*, ein Mitglied der Gesellschaft, fortgesetzt, der mit großem Geldaufwand auf dem Festungsgelände des Bischofsberges eine Sternwarte baute und mit den erforderlichen Instrumenten ausstattete. Die Sternwarte wurde 1813 bei der Belagerung Danzigs durch die Franzosen aus militärischen Gründen niedergerissen; die Instrumente wurden jedoch gerettet und sind Eigentum der Gesellschaft, und ebenfalls interessante Stücke der soeben eröffneten Ausstellung. (Besonders Sextanten und Quadranten.) Unter zahlreichen anderen Stücken der Ausstellung sind noch bemerkenswert ein Fernrohr aus *Fraunhofers* eigener Werkstatt, vorzügliche alte holländische Mikroskope, die die Entwicklung dieses Instruments von den primitiven Modellen bis in die letzten Jahrzehnte zu verfolgen gestatten, eine Kleistsche Flasche, den Urtyp der Leidener Flasche, und eine 1748 zum ersten Male in der Gesellschaft vorgeführte große Luftpumpe samt den tadellos erhaltenen Rezipienten.

Die Ausstellung hat dadurch ihren besonderen Wert, daß ihr noch zwei andere Teile angeschlossen sind, eine Ausstellung der zeitgenössischen wissenschaftlichen Werke, auf Grund deren jeweilig die Mitglieder der Gesellschaft ihre Versuche ausführten, und eine Ausstellung der „Laboratoriumsjournale", in denen die sorgfältig und eingehend niedergelegten Versuchsergebnisse vereinigt sind, eine wahre Fundgrube für historische Forschungen über die Entwicklung der Naturwissenschaften im 18. und 19. Jahrhundert.

Die Vergleichbarkeit des Alters bei Tieren. (*Samuel Brody* and *Arthur C. Ragsdale.* Journ. of gen. physiol. Bd. 5, Nr. 2, S. 205—214, 1922.) Wollte man bisher Leben*salter* verschieden langlebiger Tierarten miteinander vergleichen, so ging man von der Leben*sdauer* beider Tierarten aus, die bei beiden gleich 1 gesetzt wurde. Dies Verfahren ist deshalb unbefriedigend, weil es fast unmöglich ist, die physiologische mittlere Lebensdauer einer Tierart einigermaßen genau festzustellen. Die neue Vergleichsmöglichkeit, die der Verf. kennen lehrt, stellt in dieser Hinsicht einen Fortschritt dar. — Faßt man beim Aufstellen von Wachstumskurven anstatt der absoluten Gewichte vielmehr die Gewichtszunahmen in der Zeiteinheit ins Auge, so ergeben sich bemerkenswerte Tatsachen, die an der Hand zahlreicher Gewichtszunahmekurven erläutert werden (weiße Ratte, weiße Maus, Mensch, Meerschweinchen, Huhn, Rindvieh, Schaf, Schwein, Kaninchen). — Das Wachstum erfolgt stets rhythmisch zu- und abnehmend, und zwar ließen sich bei allen untersuchten Warmblütern *drei* Perioden auffällig starken Wachstums unterscheiden, die als die infantile (1), die juvenile (2) und die adolescentile (3) bezeichnet werden. Ihre Maxima, d. h. die Zeitpunkte stärkster Gewichtszunahme, liegen für den Menschen im Säuglingsalter, bei etwa 9 und etwa 16 Jahren. Da die lateinischen Wörter adolescens und juvenis demnach von den Verff. in durchaus verkehrter und irreführender Weise angewandt sind, soll hier nur von der ersten, zweiten und dritten Wachstumsperiode die Rede sein. — Die erste Periode fällt beim Menschen, der Ratte, Maus und dem Kaninchen teilweise, bei den übrigen Tieren vollkommen in die Zeit des uterinen Lebens. Daher muß das Alter für Vergleichszwecke nicht von der Geburt, sondern von der Befruchtung an gerechnet werden. Die Form der Kurve ist natürlich je nach der Tierart recht verschieden, überall aber zeigt sie drei Gipfel, von deren Maximalpunkten sie nach beiden Seiten annähernd symmetrisch abfällt. So schlägt Verf. vor, die ersten Gipfelpunkte aller Tiere, ebenso die zweiten und die dritten aller Tiere untereinander gleichzusetzen, so daß bei Erreichung des ersten Gipfels die Maus (25 Tage von der Befruchtung, 6 Tage von der Geburt an gerechnet), die Ratte (Befruchtungsalter 30, Geburtsalter 8 Tage), der Mensch (etwa 15 bzw. 6 Monate) und der Uterusembryo des Meerschweinchens als physiologisch gleich alt gelten dürfen. Ebenso wären physiologisch gleichalterig (zweite Gipfel): die (stets Befruchtungsalter!) 46tägige weiße Ratte, die 40tägige weiße Maus, der 9jährige Mensch, die 13 Monate alte (4 Monate von der Geburt an) Kuh usw. — Nimmt man nun an, daß die Stoffwechselvorgänge auch nach Beendigung des Wachstums, d. h. nach Abklingen des ersten Gipfels, bei allen Tierarten im gleichen Rhythmus weiterlaufen, so wird sich der Zeitpunkt des unabweislichen Alterstodes für jede Tierart im voraus berechnen lassen, wenn man für alle Tierarten die drei Gipfel, dazu für mindestens eine auch die absolute maximale Lebensdauer kennt. Ist diese das x-fache des Lebensalters bei Erreichung des dritten Gipfels, so wird man die maximalen Lebensalter der

übrigen Tierarten erhalten, indem man ihre Lebensalter bei Erreichung ihrer dritten Gipfel alle mit x multipliziert. *Donaldson-Robertson* und *Ray* geben die maximale Lebensdauer der Ratte und der Maus mit 3 bzw. 2,15 Jahren an, was etwa das 13fache ihres Alters zur Zeit des dritten Gipfels ist. Multipliziert man nun die entsprechenden (dritten Gipfel-) Alter der übrigen Tiere auch mit 13, so ergeben sich als Zeitpunkt des physiologischen Alterstodes die folgenden Alter: Haushuhn 5½, Meerschweinchen 5, Milchkuh 29,5, Kaninchen 6½, Schaf 16½, Mensch 187 Jahre. — Wegen weiterer z. T. sehr beachtenswerter Einzelheiten sei auf das Original verwiesen. *Kochler, München.*

Die Mauereidechse (Lacerta muralis) als physiologisches Reagens auf Gifte. (*Séverin Icard*, Cpt. rend. des séances de la soc. de biol. Bd. 87, Nr. 28, S. 893 bis 895. 1922.) Bekanntlich lebt, d. h. bewegt sich, der abgetrennte Schwanz einer Eidechse noch eine ganze Weile fort, wenn er vom Körper des Tieres getrennt ist. Erst nach etwa 45 Minuten kommen seine spontanen Bewegungen zum Stillstand. Es läßt sich zeigen, daß die Unabhängigkeit der Schwanzbewegungen auch am ganzen Tier vorhanden ist. Denn narkotisiert man eine Eidechse vollständig, so kann man durch den starken und in die Tiefe dringenden Reiz einer glühenden Nadel den Schwanz zu minutenlangen heftigen Bewegungen bringen, während das übrige Tier völlig bewegungslos bleibt. Die nach 2—3 Minuten aufhörenden Bewegungen können nach einer Pause von 3 bis 4 Minuten auf die gleiche Weise erneut erzeugt werden. Es handelt sich hierbei um eine Erregung der Muskeln des Schwanzes, die unabhängig von zentralen Apparaten ist. Daher bleibt die Erregbarkeit des Schwanzes nach jeder Art der Tötung des Tieres erhalten, vorausgesetzt, daß man nicht direkt muskellähmende Gifte verwendet. Sie ist also auch am kuraresierten Tier ungeschwächt. Dadurch wird die Eidechse zu einem sehr geeigneten Objekt, um Gifte darauf zu prüfen, ob sie direkt muskulär oder auf dem Wege nervöser Bahnen die Beweglichkeit beeinflussen. Die Ergebnisse zahlreicher Untersuchungen zeigen die gute Anwendbarkeit dieser Beobachtung. *Rießer, Greifswald.*

Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Akademie der Wissenschaften in Wien 1922.

9. November.

Transplantation entwickelter Extremitäten bei Amphibien, von *Paul Weiß.* An Larven von *Salamandra mac.* wurden die *voll ausdifferenzierten* und *funktionstüchtigen* Extremitäten transplantiert. Die Transplantate heilen ein; nach einigen Wochen ist auch die Funktion der Transplantate wieder vollkommen hergestellt. Die Transplantate wachsen weiter und machen die Metamorphose durch.

Die Funktion transplantierter Amphibien-Extremitäten, von *Paul Weiß.* Ein an Stelle des Beines transplantierter Arm funktioniert bei der Bewegung ganz in der normalen Weise anstatt des Beines. Ein *neben* das gleichseitige Bein lagerichtig oder um die verschiedensten Winkel gegen die normale Lage verdreht transplantierter Arm macht immer dann und nur dann aktive Bewegungen, wenn das „Ortsbein" solche ausführt. Die Bewegung des Implantates ist in allen Einzelheiten ein genaues Abbild der gleichzeitigen Bewegung des Ortsbeines, und zwar qualitativ und quantitativ.

Regeneration an transplantierten Extremitäten entwickelter Amphibien, von *Paul Weiß.* An transplantierten Extremitäten von Salamanderlarven wurden Amputationen ausgeführt. Die Transplantate sind normal regenerationsfähig. Es regeneriert dann vom Stumpf eines in die Schultergegend transplantierten Beines aus ein fünfzehiger Fuß, vom Stumpf eines in die Inguinalgegend transplantierten Armes aus eine vierfingerige Hand. Die ursprüngliche Qualität wird also durch den Standort nicht beeinflußt. Die Lage der regenerierten Extremität und ihre Größe entsprechen vollkommen der Lage der Größe vor der Amputation.

Abhängigkeit der Regeneration entwickelter Amphibienextremitäten vom Nervensystem, von *Paul Weiß.* Es zeigt sich, daß wohl die *Anwesenheit intakter Nerven* für die Regeneration notwendig ist, daß aber dazu *ein Teil* der normalen Nerven genügt und daß es weiter ganz *gleichgültig* für die *Qualität* des Regenerates ist, *welches* diese Nerven sind. Es hat sich aber auch ergeben, daß die Ausschaltung eines Teiles der Nerven eine Verlangsamung des Regenerationsablaufes zur Folge hat.

Winkelmessungen am Schmetterlingsflügel, von *Paul Weiß.* Es wurden die Winkel der Flügeladern bei *Vanessa Jo* und *Aporia crataegi* vermessen und manche Winkel recht *konstant*, andere wieder sehr *variabel* gefunden. Die zarten Adern, welche die „Zelle" abschließen, bilden untereinander sehr *einfache Winkel* (60, 90, 120°), wie sie sonst bei *Oberflächenspannungsfiguren* vorkommen.

Funktionelle Regeneration des Rückenmarkes bei Anamniern, von *Theodor Koppányi* und *Paul Weiß.* Es wurde eine hohe Rückenmarkdurchtrennung an *Carassius vulgaris Nilss.* und an larvalen Individuen des Bergmolches *(Triton alpestris Laur.)* vorgenommen. Nach einigen Wochen trat eine vollkommene Wiederherstellung der koordinierten Bewegung auf.

Gehirnexstirpationsversuche an arterwachsenen Amphibien, von *Theodor Koppányi.* Die histologisch fixierten Tiere zeigten eine völlige Wiederherstellung der nervösen Bahnen. Es ließ sich mit Sicherheit feststellen, daß an den untersuchten Tieren eine funktionelle Wiederherstellung des Rückenmarks eingetreten war.

Ziemlich alten, arterwachsenen Kammolchen wurde das gesamte Gehirn bis zum *Calamus scriptorius* in der Medulla entfernt. Nach einer Woche bewegten sich die Tiere ganz normal, ja sie bewegten sich fast ununterbrochen. Ein solcher Kammolch wurde getötet und histologisch untersucht. Der Kopf wurde in lückenlose Serien zerlegt und es zeigte sich, daß vom Gehirn inklusive Calamus scriptorius nichts mehr vorhanden war.

Experimentelle Erzeugung von Pigmentierung und Zeichnung der Flügeldecken am Rückenschwimmer (Notonecta glauca), von *Walter Finkler.* Es wurden Imagines von Notonecta glauca, die entweder gar nicht oder nur schwach pigmentierte Flügeldecken hat, ausschließlich von unten beleuchtet, indem der Lichtzutritt durch einen auf den Behälter passenden Sturz verhindert wurde. Nur von unten trat das durch einen Spiegel reflektierte Licht in die Wanne ein. Nach zwei Monaten hatten fast alle Versuchstiere deutlich pigmentierte Flügeldecken, während die unter normalen Beleuchtungsverhältnissen gehaltenen Kontrolltiere unverändert blieben.

Die Bedingungen für Fühlerfüße bei Dixippus (Carausius) morosus Br. et Redt. (Homoeosis bei Arthropoden, VII. Mitteilung), von *Leonore Brecher.* Wurde bei eben aus dem Ei geschlüpften Larven von Dixippus der eine (rechte) Fühler distal vom Schafte, also in einem Geißelglied amputiert, so regenerierte stets eine typische Geißel. Nach Amputation im

Schafte regenerierte an Stelle des Fühlers ein Gebilde mit deutlichen Beincharakteren. Diese Versuche zeigen in bezug auf die Ausbildung des Fühlerregenerates als Bein oder als Fühler enge Korrelation zur Schnittstelle. Die an derselben Art und an verschiedenen anderen von mehreren Forschern erhaltenen übereinstimmenden Resultate sprechen gegen die Annahme *Cuénots*, es könnte die homöotische Regeneration nur bestimmten Mutationen zukommen.

30. November.

Das k. M. Prof. *Franz Werner* überreichte eine vorläufige Mitteilung: **Neue Reptilien aus Süd-China,** gesammelt von Dr. *H. Handel-Mazzetti.*

Erhöhung der Körpertemperatur junger Wanderratten (Mus decumanus) über den Normalwert und ihr Einfluß auf die Schwanzlänge (Die Umwelt des Keimplasmas. X), von *Hans Przibram* und *Bertold P. Wiesner.* Vierwöchige albinotische Wanderratten *Mus decumanus* erhielten in den nächsten 10 Lebenstagen eine relative Schwanzverlängerung, wenn ihre Körpertemperatur über den für die Zimmertemperatur normalen Wert gesteigert worden war. Diese Steigerung trat nach plötzlicher Versetzung der Eltern aus der Kälte des Kellers in die Temperatur des geheizten Laboratoriums auf, wo die Jungen gut wuchsen und gediehen. Sie kann demnach nicht durch die geringere Nahrungsaufnahme in der Wärme begründet werden. Da die Erniedrigung der Körpertemperatur junger Wanderratten durch chemische Mittel und ihr verkürzender Einfluß auf die Schwanzlänge von *Bierens de Haan* und *Przibram* bereits in einer früheren Mitteilung (Die Umwelt IX) beschrieben worden ist, so ist nun der Nachweis vollständig, daß die Schwanzlänge sowohl in bezug auf ihre Verlängerung wie auf ihre Verkürzung von der Körperwärme abhängt.

Direkte Temperaturabhängigkeit der Schwanzlänge bei Ratten (Mus decumanus und M. rattus) (Die Umwelt des Keimplasmas. XI), von *Hans Przibram.* Werden Hausratten (Mus rattus) oder Wanderratten (M. decumanus) bei konstanten Temperaturen aufgezogen, so zeigen dieselben unter sonst gleichen Bedingungen bei den verschiedenen äußeren Wärmegraden auch nach Erlangung der Geschlechtsreife verschiedene relative Schwanzlänge. Zwischen + 5° und + 40° C ist bei den jungen albinotischen Wanderratten der Unterschied der relativen Schwanzlängen (Körper : Schwanz) für je 5 Celsiusgrade 0,035. Diese relative Zahl ist die gleiche für das Alter von 2 Wochen wie für jenes zwischen 7 und 8 Wochen. Die Luftfeuchtigkeit hat in den Versuchen mit Ratten keine ausschlaggebende Rolle für die Schwanzlänge gespielt, außer wenn bei niedriger Außentemperatur hohe Luftfeuchtigkeit eine raschere Abgabe der Körperwärme mit sich bringen mußte.

Die Schwanzlänge bei Ratten (Mus decumanus und M. rattus) als fakultatives Geschlechtsmerkmal (Die Umwelt des Keimplasmas. XII), von *Hans Przibram.* Bei albinotischen Wanderratten ist die relative Schwanzlänge in gleichem Alter beim Weibchen größer als beim Männchen. Das gilt für jedes Alter und jede Umweltstemperatur, doch wird die Differenz geringer bei steigender Außenwärme. Diese Verschiedenheit der relativen Schwanzlänge stellt sich also als ein durch die Temperatur modifizierbares tertiäres Geschlechtsmerkmal dar. Da zufolge früheren Mitteilungen (*Przibram* 1915; *Bierens* 1920) die Körperwärme der jungen weiblichen Ratten durchschnittlich höher ist als jene der männlichen, aber weniger bei höheren Außentemperaturen, so ist die größere Schwanzlänge des Weibchens ungezwungen mit seiner höheren Innentemperatur in Zusammenhang zu bringen. Bei der wilden schwarzen Hausratte (Mus rattus) ist auch entsprechend der höheren Körpertemperatur des Weibchens eine größere Schwanzlänge bei diesem Geschlechte zu konstatieren. Hingegen ist bei der wilden agutifarbigen Wanderratte nicht in allen Temperaturen eine Verschiedenheit der Geschlechter in bezug auf relative Schwanzlänge zu beobachten gewesen. Es liegt nahe anzunehmen, daß bei den wildfarbigen Wanderratten in gewissen Außentemperaturen die Geschlechter sich nicht mehr durch die Körpertemperatur unterscheiden, und daß darum die Schwanzlängen bei Männchen und Weibchen gleich werden.

Die Schwanzlänge der Nachkommen temperaturmodifizierter Ratten (Mus decumanus und Mus rattus) (Die Umwelt des Keimplasmas. XIII), von *Hans Przibram.* Mehrere Generationen lang in konstanten Temperaturen gezogene Ratten zeigen bei demselben Wärmegrad ganz bestimmte Werte des Verhältnisses zwischen Körper- und Schwanzlänge. Werden hingegen Ratten bei der Geburt in eine um 10° C abweichende konstante Außentemperatur versetzt, so tritt bei ihnen eine Utrierung der Schwanzlänge gegenüber jenen Ratten auf, die in dieser zweiten Temperatur mehrere Generationen lang sich aufgehalten hatten: bei Versetzung in höhere Temperatur werden also die Schwänze noch länger, bei Versetzung in niedrigere noch kürzer, als den Normalwerten für diesen Wärmegrad entsprechen würde („Transgression"). An den Nachkommen der rückversetzten Ratten tritt bei Belassung in der Rückversetzungstemperatur sowohl in den aufeinanderfolgenden Würfen derselben Generation als auch im Mittel aus denen aufeinanderfolgender Generationen eine allmähliche Annahme des für die Rückversetzungstemperatur gültigen Normalwertes ein („Regression"). Wenn die Ratten zu kurz in der Versetzungstemperatur geblieben waren oder diese bloß wenige Grade von der Mitteltemperatur ablag, so trat an Stelle der „Transgression" bei Rückversetzung teilweises Beibehalten der in der Versetzung erworbenen Schwanzlänge ein. Da in den vorangegangenen Mitteilungen (Umwelt IX—XII) die direkte Abhängigkeit der relativen Schwanzlänge von der während des Wachstums herrschenden Körpertemperatur bewiesen worden ist, so lassen sich die geschilderten Verhältnisse bloß auf eine Verschiedenheit der „Temperaturstimmung" der Ratten beziehen. Die Übertragung der „Wärmestimmung" auf die Nachkommen stellt eine Nachwirkung der vorangegangenen Temperatur auf den allgemeinen Stoffwechsel dar, denn die Nerven sind ja in den Keimen anfänglich nicht vorhanden und die Funktion der Wärmeregulation ist noch zwei Wochen nach der Geburt sehr unvollkommen.

Das Anwachsen der relativen Schwanzlänge und dessen Temperaturquotient bei den Ratten (Mus decumanus und M. rattus) (Die Umwelt des Keimplasmas. XIV), von *Hans Przibram.* Die relative Schwanzlänge nimmt von der Geburt der Ratten (und der Hausmaus) an während des Körperwachstumes im großen ganzen zu. Nehmen wir solche Perioden des Wachstums, in welchen eine regelmäßige Zunahme der relativen Schwanzlänge stattfindet, so können wir ein Maß der Geschwindigkeit bekommen, mit der das Schwanzwachstum vorschreitet, wenn wir die relative Schwanzlänge ($S : K$) oder deren reziproken Wert ($K : S$) an ein und demselben Lebenstage verschiedener Ratten messen. Wurden Ratten, die in verschiedenen konstanten Temperaturen bereits in zweiter Generation aufgezogen worden waren, mit 14 Tagen oder in der neunten Lebenswoche in bezug auf relative Schwanzlänge verglichen, so zeigte sich die Geschwindigkeit des Schwanzwachstums in Übereinstimmung mit dem Reaktionsgeschwindigkeitstemperaturgesetz (*RGT-Regel*) *Kanitz; van't Hoffs* Temperaturregel, wenn nicht die Außentemperatur, sondern die Werte der Körperwärme (siehe Umwelt VI) in die Formel eingesetzt werden. Die gleiche Gesetzmäßigkeit erhält man durch Vergleich der verschiedenen Schwanzlängen bei den Geschlechtern mit ihren verschiedenen Körperwärmen (siehe Umwelt XII) in ein und derselben Außentemperatur.

Nachwirkung von Lichtmodifikationen in Finsternis (Die Puppenfärbungen des Kohlweißlings, Pieris brassicae IX und die Puppenfärbungen der Vanessiden

III), von *Leonore Brecher*. Die aus weißinduzierten hellen Puppen von Pieris brassicae stammenden Nachkommen ergaben bei Verpuppung in Finsternis eine Reduktion der Anzahl grüner Puppen im Vergleiche zu den Nachkommen der gelbinduzierten grünen Puppen sowie zu den aus Raupen unbestimmter Abstammung entstandenen Puppen. Die in vollkommene Finsternis gebrachten verpuppungsreifen Nachkommen gelbinduzierter grüner Puppen von Vanessa Io ergaben eine Vermehrung der Anzahl grüner Puppen im Vergleich zu den aus Raupen unbestimmter Abstammung in Finsternis entstandenen Puppen.

Die Funktionsfähigkeit autophor transplantierter Ovarien bei Ratten (Epimys norvegicus), von *Bertold P. Wiesner*. Bei der Wanderratte (Epimys norvegicus) wurden Ovarien in den Uterus verpflanzt. Wenn bei der homoplastischen Transplantation die eigenen Ovarien entfernt worden waren, so wurde Nachkommenschaft erzielt. Ein Einfluß der „Tragamme" war nicht zu erkennen. Da eine weiße Tragamme mit einem weißen Bock gepaart auch dunkle Junge gebar, was bekanntlich bei der Paarung der stets rezessiven albinotischen Ratten nie stattfinden könnte, so ist es sicher, daß die Nachkommen nicht etwa aus unabsichtlich zurückgebliebenen Resten eines Ovars der Tragamme stammten.

Unabhängigkeit der Extremitätenregeneration vom Skelett (bei Triton cristatus), von *Paul Weiß*. Die Ausbildung des Skeletts im Regenerat und seine Qualität ist unabhängig nicht nur von der Art der in der Schnittfläche vorhandenen alten Skeletteile, sondern überhaupt von der Anwesenheit von alten Skelettelementen im Amputationsstumpf. Ein Amputationsstumpf einer Extremität, aus dem alle Skeletteile entfernt worden sind, ist wohl imstande, den amputierten Teil von der Schnittfläche an distalwärts vollständig zu ersetzen, und dieses Regenerat enthält dann auch alle dem entfernten und neugebildeten Extremitätenabschnitt zukommenden Skeletteile; derselbe Amputationsstumpf ist aber nicht imstande, seine eigenen entfernten Knochen zu ersetzen.

Herztransplantation an verwandelten Amphibien, von *Paul Weiß*. Es wurde von einem Tier das Herz samt den angrenzenden Teilen der Gefäßstämme und samt den Sinus venosus in die Bauchhöhle eines anderen Tieres transplantiert, ohne jedoch einen Anschluß an den Hauptkreislauf herzustellen. Die eingeheilten Herzen schlagen deutlich und kräftig, der Umfang der Kontraktionen schwankt. Ein operiertes Exemplar von Bombinator habe ich *drei Monate* nach der Operation eröffnet und physiologische Vorversuche angestellt. Es zeigte sich, daß das transplantierte Herz einen anderen Durchschnittsrhythmus besaß als das normale Herz.

14. Dezember.

Das k. M. Prof. *Stefan Meyer* übersendet eine Abhandlung, betitelt: **Über die von der γ-Strahlung des Radiums ausgelöste sekundäre Elektronenstrahlung,** von *Alfons Euderle*.

1. Es wird die durch γ-Strahlen ausgelöste Sekundärstrahlung von atomschweren Elementen untersucht. Die verschieden harten γ-Komponenten lösen je eine Type von Sekundär-Elektronen aus, deren Anfangsgeschwindigkeit von der Wellenlänge der γ-Strahlen abhängt. Jeder Sekundärstrahlungstype kommt ein bestimmter Asymmetriekoeffizient zu (Verhältnis der Austritts- zur Eintrittsstrahlung), und zwar der härteren Type der größere.

2. Die Anomalie des Bleies (Umkehrung der Asymmetrie gegenüber der der anderen Elemente) wird als Absorptionseffekt erwiesen, der bei Elementen mit hohem Atomgewicht allgemein auftritt und bei Pb von etwa 0,5 mm Plattenstärke an zum Herabsinken des gemessenen (scheinbaren) Asymmetriekoeffizienten unter 1 führt.

3. Aus den Reichweiten der Ein- und Austrittsstrahlung werden die Absorptionskoeffizienten der von den beiden Hauptkomponenten der γ-Strahlung erregten Elektronentypen berechnet und gezeigt, daß die Funktion $\mu/\varrho = f(A)$ (Absorptionskoeffizient : Dichte = Funktion des Atomgewichtes) ähnlich wie bei den β-Strahlen des *U X* auch für diese Sekundärstrahlung im allgemeinen ansteigt.

4. Es werden die wahren Asymmetriekoeffizienten für Pb, Au, Ag, Ni, Fe berechnet und gezeigt, wie dieselben, als Funktion des Atomgewichtes dargestellt, mit zunehmendem Atomgewicht gegen 1 konvergieren.

Das w. M. *J. M. Eder* legt folgende Arbeiten von *Ludwig Moser* und *Ernst Irányi* in Wien vor:

Über die Anwendung der Hydrolyse zur Trennung von Titan, Eisen und Aluminium. Unter Berücksichtigung, daß die Hydrate des Titans (4), Aluminiums und Eisens (3) typische Kolloide sind, wurde eine Trennung des ersteren vom Aluminium nach dem Prinzip der fraktionierten Hydrolyse durchgeführt, wobei als Neutralisationsmittel von dem System HCl—$HBrO_3$ Gebrauch gemacht wurde, das zu einer bestimmten Endazidität führt, bei der nur das Titan(4)hydrat in dichter, gut filtrierbarer Form ausfällt. Dagegen ist auf diesem Wege eine Titan(4)eisentrennung undurchführbar.

Die Trennung des Titans vom Eisen und Aluminium mit Sulfosalizylsäure. Es wurde gezeigt, daß man bei Anwendung von Sulfosalizylsäure C_6H_3OH (1), COOH (2), SO_3H (5), das Eisen (3) aus schwach ammoniakalischer Lösung durch Schwefelwasserstoff quantitativ fällen kann, während Titan (4) und Aluminium in Lösung bleiben; Titan wird im Filtrate durch Kochen der stark ammoniakalischen Lösung abgeschieden und schließlich das Aluminium nach Sublimation der Sulfosalizylsäure zuletzt, nach einer der bekannten Methoden bestimmt.

Prof. Dr. *Robert Sterneck* aus Graz überreicht eine Abhandlung mit dem Titel: **Harmonische Analyse und Theorie der Mittelmeergezeiten.** I. Mitteilung. Während man bisher die harmonischen Konstanten im Gebiete des Mittelmeeres (von der Adria abgesehen) bloß für Toulon, Marseille und Malta kannte, ist es dem Verfasser durch das weitgehende Entgegenkommen, mit welchem ihm in Italien, Spanien, Ägypten und Tunesien das mareographische Beobachtungsmaterial zur Verfügung gestellt wurde, möglich geworden, die harmonische Analyse der Gezeitenkurven für 13 weitere Stationen an den Küsten des Mittelmeeres sowie für Cádiz durchzuführen.

Versuche zur Biologie des Rippenmolches (Pleurodeles Waltli Michah.), von *Theodor Koppányi*. *Der Rippenmolch erscheint uns demnach als ein archaischer Molchtypus, bei dem die Sexuszeichen noch ein Merkmal darstellen. — Pleurodeles hat ferner, wie die meisten Anuren, eine Brustschwiele und eine Umklammerung im Wasser. Es wurden die Hoden zweier kammtragenden Molcharten* (Triton cristatus Laur. und Triton marmoratus Schirz.) *und des Rippenmolches ausgetauscht. Es zeigte sich das Resultat, daß die transplantierten Hoden — ihre typische Zellstruktur beibehaltend — einheilen. Die anatomische, histologische und physiologische Untersuchung ergab übereinstimmend, daß es sich in unseren Versuchen um eine vollständige funktionelle Hodentransplantation handelt. Die Rippen üben auf die Haut einen ziemlich starken mechanischen Druck aus. Zugleich kann man an allen jenen Stellen, wo die Rippen mit der Haut korrespondieren, schmutziggelbe Flecken wahrnehmen. Die gelben Flecken färbten sich auch nach der Wegnahme der Rippen, also nach dem Aufhören des mechanischen Druckes. Ein kausaler Zusammenhang zwischen gelbem Pigment und mechanischem Druck besteht also gegenwärtig nicht.*

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. *Dr. Arnold Berliner*, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck von H. S. Hermann & Co. in Berlin SW 19.